



**TUGAS AKHIR (MO 141326)**

**STUDI EKSPERIMEN STABILITAS UNIT LAPIS  
PELINDUNG BPPT-LOCK PADA SEAWALL  
DENGAN VARIASI SUDUT KEMIRINGAN**

**FARID VEGA ARDIAN**

**NRP. 4313100074**

**DOSEN PEMBIMBING :**

**Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph. D.**

**Drs. M. Mustain, M. Sc., Ph. D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2017**



**FINAL PROJECT (MO 141326)**

**EXPERIMENTAL STUDY OF BPPT-LOCK ARMOUR  
UNIT STABILITY ON SEAWALL WITH VARIATION  
OF SLOPE**

**FARID VEGA ARDIAN**

**NRP. 4313100074**

**SUPERVISORS :**

**Haryo Dwiro Armono, S.T., M. Eng., Ph. D.**

**Drs. M. Mustain, M. Sc., Ph. D.**

**OCEAN ENGINEERING DEPARTEMENT  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2017**

**STUDI EKSPERIMEN STABILITAS UNIT LAPIS PELINDUNG BPPT-LOCK  
PADA SEAWALL DENGAN VARIASI SUDUT KEMIRINGAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada  
Program S-1 Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**FARID VEGA ARDIAN**

**NRP. 431310007**

Disetujui Oleh :

1. Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph. D. (Pembimbing I)

2. Drs. Mahmud Musyirin, M. Sc., Ph. D. (Pembimbing II)

3. Sujatoko, S.T., M.T. (Penguji I)

4. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M. Sc. (Penguji II)

Surabaya, Juli 2017

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **STUDI EKSPERIMEN STABILITAS UNIT LAPIS PELINDUNG BPPT-LOCK PADA SEAWALL DENGAN VARIASI SUDUT KEMIRINGAN**

**Nama : Farid Vega Ardian**

**NRP : 4313100074**

**Departemen : Teknik Kelautan FTK-ITS**

**Dosen Pembimbing : Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D.**

**Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D.**

### **ABSTRAK**

*Seawall* merupakan salah satu bangunan pelindung pantai yang dibangun sejajar dengan garis pantai. Fungsi utama dari *seawall* adalah untuk melindungi daerah di belakangnya dari hempasan gelombang. *Seawall* biasanya dibangun dari konstruksi beton, turap baja/kayu, dan pada bagian yang menghadap ke laut diberi lapisan pelindung yang tersusun dari batu pecah atau blok-blok beton pengganti batu pecah. Stabilitas lapisan pelindung ini harus sebaik mungkin direncanakan dalam mendesain *seawall*. Pada penelitian kali ini, dilakukan analisa stabilitas unit lapis pelindung *seawall* dengan menggunakan batu BPPT-lock. Penelitian ini akan menggunakan eksperimen model fisik di laboratorium dengan melakukan variasi sudut kemiringan struktur pelindung *seawall*. Dari hasil penelitian, diperoleh hasil untuk sudut kemiringan 1 : 1,15 merupakan sudut kemiringan yang paling tidak stabil. Dan sudut kemiringan 1 : 2 merupakan sudut kemiringan yang paling stabil dengan tinggi dan periode yang sudah ditentukan. Pada saat kemiringan 1 : 1,15 dengan variasi tinggi gelombang tertinggi yaitu 14 cm, terjadi tingkat kerusakan sebesar 31,45 %. Sedangkan pada saat kemiringan 1 : 1,5 dan 1 : 2 terjadi tingkat kerusakan sebesar 2,35 % dan 1,33 % untuk tinggi gelombang yang sama.

**Kata Kunci : *Seawall*, unit lapis pelindung, stabilitas, model fisik, BPPT-lock.**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **EXPERIMENTAL STUDY OF BPPT-LOCK ARMOUR UNIT STABILITY ON SEAWALL WITH VARIATION OF SLOPE**

**Name : Farid Vega Ardian**  
**NRP : 4313100074**  
**Department : Ocean Engineering FTK-ITS**  
**Supervisors : Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D.**  
**Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D.**

## **ABSTRACT**

Seawall is one of the coastal protection buildings built parallel to the shoreline. The main function of seawall is to protect the area behind it from the wave. Seawall is usually constructed of concrete or steel and on the seaside is given armour layer composed of rock or concrete blocks as replacement rock called rubble mound. The stability of this armour layer should be planned as well as possible in designing the seawall. In this research, stability analysis of layer unit seawall using BPPT-lock was performed. This study will use experimental physical models in the laboratory by varying the slope angle of the protection structure. From the results of the research, the results obtained for a slope angle of 1: 1.15 is the most unstable slope angle. And a 1: 2 slope angle is the most stable angle of inclination with a given height and period. At the slope of 1: 1.15 with the highest wave height variation is 14 cm, the damage percent is 31.45%. While at the slope of 1: 1.5 and 1: 2 there is a damage rate of 2.35% and 1.33% for the same wave height.

**Keywords :** *Seawall, layer unit, stability, physical model, BPPT-lock.*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Eksperimen Stabilitas Unit Lapis Pelindung BPPT-lock pada *Seawall* dengan Variasi Sudut Kemiringan”**. Tugas akhir ini merupakan persyaratan dalam menyelesaikan program studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institute Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis mohon maaf apabila dalam penyusunan laporan ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan teknologi di Indonesia khususnya dalam bidang rekayasa pantai.

Surabaya, 18 Juli 2017

Farid Vega Ardian

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang turut membantu selama persiapan sebelum pengujian, proses pengujian, hingga penyusunan laporan Tugas Akhir selesai, baik secara langsung maupun tidak langsung. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Kedua orang tua penulis, yang selalu memberikan semangat, motivasi, biaya, dan doa kepada penulis.
2. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir penulis yang berkenan meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan kepada penulis.
3. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing kedua Tugas Akhir penulis yang juga berkenan meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan kepada penulis.
4. Bapak Mochtar Arif dan Bapak Aris Resdianto selaku teknisi Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut serta Laboratorium Pantai dan Lingkungan Laut yang telah membantu selama proses pengujian berlangsung.
5. Teman-teman yang tergabung dalam Grup Seawall, yaitu Iyan, Danny, Ali, Awang, Rorry, dan Rindy yang telah menjadi rekan sesama penguji dalam pengujian model fisik *seawall*.
6. Keluarga besar Teknik Kelautan 2013, Valtameri atas kekeluargaan dan kebersamaan dalam menjalani masa perkuliahan.
7. Seluruh staf administrasi Departemen Teknik Kelautan atas bantuannya selama penulis mengurus berkas Tugas Akhir.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat .....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Struktur Pelindung Pantai .....	8
2.2.2 Batu Lapis Pelindung .....	10
2.2.3 Karakteristik Gelombang .....	14
2.2.4 Gelombang Irreguler.....	16

2.2.5 Gaya Gelombang yang mengenai struktur .....	17
2.2.6 Pemodelan Fisik .....	18
2.2.7 Kelebihan Pemodelan Fisik .....	22
2.2.8 Kerugian Model Fisik .....	23
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	25
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian .....	27
3.2.1 Studi Literatur .....	27
3.2.3 Kalibrasi Peralatan Uji.....	33
3.2.4 Proses Pengujian.....	34
3.2.5 Pengukuran dan Pengamatan .....	35
3.2.6 Metode Menghitung Kerusakan Batu .....	35
3.2.7 Analisa dan Pembahasan Hasil Pengujian .....	37
 BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	39
4.1 Analisa Data .....	39
4.1.1 Data Gelombang .....	39
4.1.2 Data Hasil Pengujian .....	43
4.2 Pembahasan .....	53
4.2.1 Pengaruh Kecuraman Gelombang ( $H/gT^2$ ) terhadap Bilangan Stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) dan Koefisien Stabilitas ( $K_D$ ) .....	53
4.2.2 Pengaruh Bilangan Stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) terhadap Persentase Kerusakan .....	55
4.2.3 Perbandingan Uji Stabilitas BPPT-lock terhadap Model Unit Lapis Pelindung Lainnya.....	56

BAB V PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA .....	63
LAMPIRAN A Proses Pembuatan Model Dan Instalasi Ke Dalam Flume Tank .....	A-1
LAMPIRAN B Hasil Pembacaan Gelombang Oleh Anaware .....	B-1
LAMPIRAN C Foto Pengamatan Visual Sebelum Dan Sesudah Percobaan ....	C-1
LAMPIRAN D Tabel-Tabel Perhitungan .....	D-1

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Perbandingan stabilitas unit lapis pelindung (Sumber : Van der Meer, 1988) .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Perbandingan stabilitas antifer <i>cubes</i> (Chegini and Aughtoman, 2006) dan <i>cubes</i> (Van der Meer, 1988) .....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Bangunan pantai sisi miring, breakwater (CED, 2003) .....	8
<b>Gambar 2.4</b>	Bangunan pelindung pantai sisi tegak, caisson breakwater (CED, 2003) .....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Bangunan pelindung pantai campuran, composite breakwater (CED, 2003) .....	9
<b>Gambar 2.6</b>	Rubble mound seawall (CED, 2003) .....	10
<b>Gambar 2.7</b>	Contoh beberapa jenis batu buatan .....	12
<b>Gambar 2.8</b>	Prototip Xblok (Hakenberg, 2004) .....	13
<b>Gambar 2.9</b>	Prototip BPPT-lock (Zuhdan, 2012) .....	13
<b>Gambar 2.10</b>	Penggambaran pola gelombang irreguler (Bhattacharyya, 1972) .....	16
<b>Gambar 2.11</b>	Skema gaya pada unit lapis pelindung akibat serangan gelombang (Burcharth, 1994) .....	18
<b>Gambar 2.12</b>	Gambaran keserupaan geometri (Semeidi, 2015) .....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Tulang Ikan Penelitian .....	25
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram Alir Penelitian .....	26
<b>Gambar 3.3</b>	<i>Flume Tank</i> .....	28
<b>Gambar 3.4</b>	Penampang melintang model <i>seawall</i> .....	30
<b>Gambar 3.5</b>	Model BPPT-lock (Sumber: Zuhdan, dkk. 2012) .....	31
<b>Gambar 3.6</b>	Penampang melintang model struktur <i>seawall</i> .....	32
<b>Gambar 3.7</b>	Tampak samping dan Tampak atas model uji di kolam uji .....	34
<b>Gambar 3.8</b>	Penyusunan BPPT-lock sesuai zona warna .....	36
<b>Gambar 3.9</b>	Contoh grafik hubungan <i>wave steepness</i> dan angka stabilitas (Sumber : Bakker <i>et al.</i> 2005) .....	37
<b>Gambar 3.10</b>	Perbandingan stabilitas antifer <i>cubes</i> (Chegini and Aughtoman, 2006) dan <i>cubes</i> (Van der Meer, 1988) .....	38
<b>Gambar 4.1</b>	Tampilan makro excel Refana untuk pembacaan data TMH .....	40

<b>Gambar 4.2</b>	Contoh hasil olahan Refana dalam format excel .....	41
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil olahan Refana dikelompokkan ke dalam satu folder .....	41
<b>Gambar 4.4</b>	Tampilan WareLab (AnaWare) .....	43
<b>Gambar 4.5</b>	Foto untuk percobaan ke 4, sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) .....	44
<b>Gambar 4.6</b>	Foto percobaan ke 5, sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) .....	44
<b>Gambar 4.7</b>	Sketsa peletakan BPPT-lock sesuai zona warna dengan sudut kemiringan 1 : 1,15 .....	45
<b>Gambar 4.8</b>	Sketsa peletakan BPPT-lock sesuai zona warna dengan sudut kemiringan 1 : 1,5 .....	48
<b>Gambar 4.9</b>	Sketsa peletakan BPPT-lock sesuai zona warna dengan sudut kemiringan 1 : 2 .....	50
<b>Gambar 4.10</b>	Hubungan antara kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) dengan bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) .....	53
<b>Gambar 4.11</b>	Hubungan antara kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) dengan koefisien stabilitas ( $K_D$ ) .....	54
<b>Gambar 4.12</b>	Hubungan antara bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) dengan persentase kerusakan .....	55
<b>Gambar 4.13</b>	Hubungan tinggi gelombang dengan jumlah unit yang mengalami kerusakan pada penelitian Zuhdan, dkk (2012) (sudut kemiringan struktur 1 : 1,5) .....	57
<b>Gambar 4.14</b>	Hubungan tinggi gelombang dengan jumlah unit yang mengalami kerusakan pada penelitian Zuhdan, dkk (2012) (sudut kemiringan struktur 1 : 2) .....	57
<b>Gambar 4.15</b>	Hubungan tinggi gelombang dengan jumlah unit yang mengalami kerusakan pada penelitian Zuhdan, dkk (2012) dan hasil pengujian (sudut kemiringan struktur 1 : 1,5) .....	58
<b>Gambar 4.16</b>	Hubungan tinggi gelombang dengan jumlah unit yang mengalami kerusakan pada penelitian Zuhdan, dkk (2012) dan hasil pengujian (sudut kemiringan struktur 1 : 2) .....	59

**Gambar 4.17** Hubungan tinggi gelombang dengan jumlah unit yang mengalami kerusakan pada penelitian Zuhdan, dkk (2012) dan hasil pengujian (sudut kemiringan struktur 1 : 1,5 dan 1 : 2) .....59

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Jenis-jenis batu buatan (Zuhdan, 2012) .....	11
<b>Tabel 2.2</b> koefisien stabilitas $K_D$ untuk berbagai jenis butir lapis pelindung (Triatmdjo, 1999) .....	14
<b>Tabel 3.1</b> Parameter skala model .....	31
<b>Tabel 3.2</b> Variasi tinggi gelombang dan sudut kemiringan struktur armor unit batu pelindung .....	33
<b>Tabel 4.1</b> Hasil olahan WareLab .....	42
<b>Tabel 4.2</b> Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-3 .....	46
<b>Tabel 4.3</b> Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-4 .....	47
<b>Tabel 4.3</b> Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-5 .....	47
<b>Tabel 4.4</b> Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-9 .....	49
<b>Tabel 4.5</b> Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-10 .....	49
<b>Tabel 4.6</b> Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-14 .....	51
<b>Tabel 4.7</b> Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-15 .....	52
<b>Tabel 4.8</b> Hasil keseluruhan pengujian .....	52

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki lebih dari 17 ribu pulau yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Dengan banyaknya pulau yang dimiliki Indonesia membuat Indonesia memiliki garis pantai yang sangat panjang yaitu lebih dari 81 kilometer (Dauhan, dkk., 2013). Banyak diantara masyarakat Indonesia yang mendiami daerah pesisir. Hal ini menjadikan pantai sebagai sumber mata pencaharian oleh sebagian dari mereka melalui aktivitas penangkapan ikan, industri, perniagaan atau sebagai area rekreasi. Dengan meningkatnya eksplorasi sumber daya alam kelautan dan pembangunan daerah pantai, tentunya akan memberikan dampak bagi lingkungan pantai tersebut.

Selain dari pembangunan infrastruktur di area pantai, aktivitas alam juga dapat menimbulkan permasalahan. Permasalahan yang biasa terjadi pada daerah pantai adalah erosi, dimana erosi tersebut disebabkan oleh aktivitas gelombang laut. Upaya penanggulangan erosi pantai di Indonesia telah banyak dilakukan antara lain dengan menggunakan struktur pelindung pantai berupa *seawall*, revetmen, tanggul laut, groin, jetty, dan pemecah gelombang.

Pada saat ini beberapa pantai mengalami abrasi. Bangunan pelindung pantai yang paling sederhana dan sudah banyak diterapkan adalah berupa *seawall* dan revetmen dari batu alam (Fatnanta, 2010). *Seawall* merupakan struktur pelindung pantai yang dibuat sejajar garis pantai dan biasanya memiliki dinding relatif tegak atau lengkung (Triatmodjo, 1999). *Seawall* berfungsi sebagai dinding pelindung daerah di belakangnya agar tidak terjadi erosi dan sebagai pencegah limpasan air laut. *Seawall* pada umumnya dibuat dari konstruksi padat seperti beton, turap baja atau kayu.

*Seawall* yang paling banyak diaplikasikan adalah *seawall* tipe sisi miring. Umumnya bagian depan diberi lapisan pelindung berupa batu alam atau *rubble mound*. Lapisan pelindung bagian luar ini berfungsi menahan dan memecah energi gelombang (Muttray and Reedjik, 2008). Lapisan pelindung bagian luar terbuat dari

batu besar yang memiliki berat mencapai beberapa ton. Dengan semakin sulitnya mendapatkan bahan batu alam dengan ukuran yang besar, lapisan pelindung berkembang dengan menggunakan blok-blok beton pengganti batu alam seperti tetrapod, quatripod, tribar, hexapod, dolos, xblok, dan lain sebagainya.

Permasalahan lain juga dapat timbul setelah bangunan pelindung pantai seperti *seawall* di bangun. Unit lapis pelindung dapat tidak stabil dalam menahan gaya gelombang, sebab itu bentuk dan ukuran harus direncanakan agar unit lapis pelindung tetap stabil. Menurut Zuhdan, dkk. (2012), bentuk dan ukuran unit lapis pelindung memegang peranan penting dalam menentukan koefisien stabilitas ( $K_D$ ). Balai Pengkajian Dinamika Pantai (BPDP) BPPT membuat desain baru unit lapis pelindung yang diberi nama BPPT-lock. Unit lapis pelindung ini diklaim lebih unggul dan memiliki koefisien stabilitas ( $K_D$ ) lebih tinggi dibandingkan dengan tetrapod, xblok, dan dolos (Zuhdan, dkk. 2012).

Banyak penelitian yang dilakukan dalam membahas masalah stabilitas unit lapis pelindung. Sriyana (2009), dalam jurnalnya menyebutkan bahwa Irribaren memberikan persamaan untuk mencari berat unit lapis pelindung. Dari persamaan tersebut terlihat bahwa berat unit lapis pelindung berbanding lurus dengan tinggi gelombang dan koefisien stabilitas, akan tetapi berbanding terbalik terhadap sudut kemiringan struktur dan kerapatan relatif. Selanjutnya, Hudson (1959) mencoba mengembangkan formula Irribaren untuk analisis stabilitas unit lapis pelindung. Kemudian Van der Meer (1987) memberikan desain formula untuk analisis stabilitas unit lapis pelindung dengan memberi perbedaan persamaan untuk tipe gelombang pecah (*plunging*) dan gelombang tak pecah (*surgings*). Penelitian mengenai stabilitas untuk berbagai jenis blok beton juga dilakukan, seperti penelitian Van der Meer (1988) yang menganalisis stabilitas untuk blok betok bentuk *cubes*, *tetrapods*, dan *acropode*. Chegini dan Aghtouman (2006) juga melakukan uji model fisik pada pemecah gelombang tipe *rubble mound* dengan unit lapis pelindung berupa *antifer cubes*.

Dalam tugas akhir ini, dilakukan penelitian mengenai stabilitas unit lapis pelindung pada *seawall*. Unit lapis pelindung *seawall* menggunakan tumpukan blok-blok beton BPPT-lock yang sudah disebutkan sebelumnya. BPPT-lock ini digunakan



untuk mengganti batu alam sebagai unit lapis pelindung pada *seawall*. *Seawall* dan BPPT-lock tersebut kemudian dimodelkan secara fisik di *flume tank* yang berada di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut, Departemen Teknik Kelautan FTK ITS untuk kemudian dilakukan pengujian dengan variasi kemiringan struktur batu pelindung.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh sudut kemiringan struktur terhadap stabilitas unit lapis pelindung *seawall*?
2. Bagaimana pengaruh tinggi gelombang terhadap stabilitas unit lapis pelindung *seawall*?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan penelitian dari rumusan masalah yang akan dibahas adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan struktur terhadap stabilitas unit lapis pelindung *seawall*.
2. Untuk mengetahui pengaruh tinggi gelombang terhadap stabilitas unit lapis pelindung *seawall*.

## **1.4 Manfaat**

Penelitian ini diharapkan dapat memperbanyak informasi ilmiah untuk digunakan sebagai panduan teknis tambahan dalam pemilihan sudut kemiringan struktur pelindung pada bangunan pelindung pantai sisi miring.

## **1.5 Batasan Masalah**

Dengan mempertimbangkan fasilitas yang ada, batasan masalah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Arah sudut datang gelombang tegak lurus terhadap model.
2. Variasi sudut kemiringan struktur, tinggi gelombang, periode gelombang dan elevasi muka air telah ditentukan.
3. Beban arus dan beban angin diabaikan.

4. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang irreguler dengan spektrum JONSWAP.
5. Model fisik menggunakan bahan dan skala yang sudah ditentukan.
6. Pengaruh porositas model diabaikan.
7. Air yang digunakan merupakan air tawar.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan yang digunakan dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

### **Bab I Pendahuluan**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilakukan, perumusan masalah, tujuan dan manfaat dari penelitian ini. Batasan masalah juga diberikan dalam bab ini agar pembahasan tidak meluas. Untuk memudahkan pemahaman tentang laporan dari penelitian ini maka akan dijelaskan pula sistematika penulisan laporan.

### **Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori**

Bab ini menjelaskan dasar-dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan dalam menyelesaikan perumusan masalah yang ada.

### **Bab III Metodologi Penelitian**

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah secara terperinci dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

### **Bab IV Analisa Data dan Pembahasan**

Bab ini menjelaskan mengenai semua hasil analisa dan pengujian yang dilakukan. Hasil pengolahan data yang didapatkan digunakan untuk menjawab tujuan dari dilakukan penelitian ini.

### **Bab V Kesimpulan dan Saran**

Bab ini berisi tentang semua jawaban dari permasalahan yang ada serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

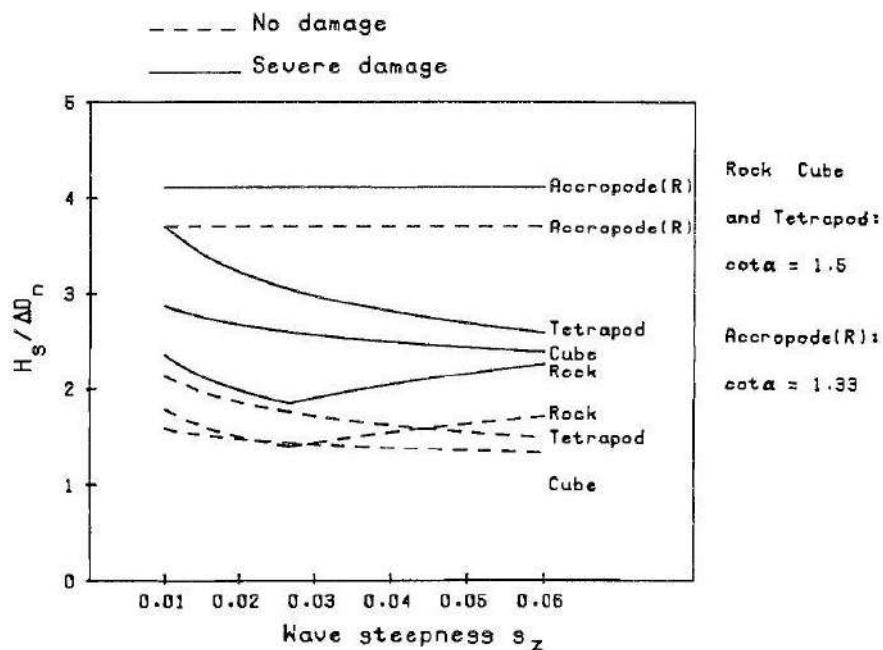
#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

*Seawall* merupakan salah satu bangunan yang berfungsi sebagai pelindung daratan yang ada dibelakangnya. Bangunan ini digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus. Sesuai dengan fungsinya tersebut, *seawall* dikelompokkan dalam konstruksi yang dibangun sejajar dengan garis pantai (Triatmodjo, 1999). Bangunan ini membatasi secara langsung bidang daratan dengan air laut dan digunakan untuk melindungi pantai berlumpur atau berpasir. *Seawall* terdiri dari bagian konstruksi kaki, lapisan pelindung, terkadang juga memiliki *berm*, dan puncak struktur. Lapisan pelindung pada *rubble mound* struktur adalah merupakan salah satu bagian penting dalam desain rencana. Kesalahan dalam desain berat unit lapis pelindung dapat mengakibatkan kegagalan struktur. Pada awal mulanya, unit lapis pelindung tersusun atas tumpukan batu alam dengan ukuran yang besar dan berat mencapai beberapa ton. Akan tetapi, dikarenakan beberapa faktor seperti sulitnya mencari batu alam dengan ukuran yang sesuai desain rencana, batu alam mulai diganti dengan blok-blok beton dengan bentuk tertentu.

Salah satu permasalahan yang sering ditemui pada konstruksi *rubble mound* adalah ketidakstabilan struktur tersebut. Faktor yang mempengaruhi stabilitas unit lapis pelindung telah diteliti selama lebih dari 50 tahun yang lalu. Sriyana (2009), dalam jurnalnya menyebutkan bahwa Irribaren memberikan persamaan untuk mencari berat unit lapis pelindung. Dari persamaan tersebut terlihat bahwa berat unit lapis pelindung berbanding lurus dengan tinggi gelombang dan koefisien stabilitas, akan tetapi berbanding terbalik terhadap sudut kemiringan struktur dan kerapatan relatif.

Formula paling sering digunakan dalam menghitung berat unit lapis pelindung adalah formula Hudson (SPM, 1984) dan formula yang dijabarkan oleh Van der Meer (1987). Hudson (1959) mencoba mengembangkan formulasi yang telah diberikan oleh Irribaren untuk analisis stabilitas unit lapis pelindung. Dalam formula Hudson, hanya beberapa variabel yang dianggap dominan yang

dimasukkan, diantaranya adalah berat unit lapis pelindung, tinggi gelombang signifikan, berat jenis, rapat massa relatif, tinggi gelombang signifikan, dan koefisien stabilitas ( $K_D$ ). Koefisien stabilitas berbanding lurus terhadap berat jenis dan tinggi gelombang serta berbanding terbalik terhadap berat unit lapis pelindung, rapat massa relatif, dan sudut kemiringan struktur. Formula Hudson masih sangat sederhana dan keuntungan bagi desainer adalah nilai koefisien stabilitas untuk berbagai jenis armor serta konfigurasinya sudah diturunkan (SPM, 1984). Formulasi Hudson masih memiliki keterbatasan diantaranya adalah belum adanya efek periode gelombang, permeabilitas, jumlah gelombang dan menggunakan gelombang reguler. Hal ini coba dimanfaatkan Van der Meer (1987) yang memberikan formulasi stabilitas unit lapis pelindung dengan tipe *surging wave* dan *plunging wave*. Dalam formulasi tersebut sudah disertai dengan faktor permeabilitas, jumlah gelombang, serta efek periode gelombang. Desain formula Van der Meer juga telah menggunakan gelombang acak didasarkan pada lebih dari tiga ribu tes model. Menurut kondisi pengujian, parameter yang tidak berpengaruh pada stabilitas unit lapis pelindung adalah *armour grading*, bentuk spektrum gelombang, dan kelompok gelombang.

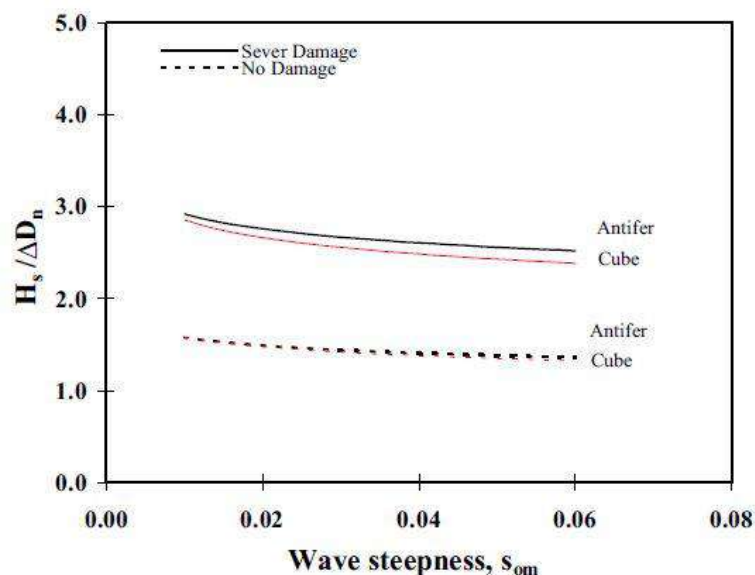


**Gambar 2.1** Perbandingan stabilitas unit lapis pelindung

(Sumber : Van der Meer, 1988)

Van der Meer (1988) juga menambahkan formulasi stabilitas unit lapis pelindung dengan menggunakan bentuk *cubes*, *tetrapos*, dan *acropode*. Van der Meer memberikan perbandingan untuk stabilitas batu pecah dengan tiga artifisial unit lapis pelindung yang dapat dilihat pada gambar 2.1. Dari gambar 2.1 dapat diambil kesimpulan bahwa awal kerusakan unit lapis pelindung jenis batu pecah dan *cubes* hampir sama. Initial stabilitas untuk *tetrapods* lebih tinggi jika dibandingkan dengan batu pecah dan *cubes* dan initial stabilitas untuk *acropode* adalah yang paling tinggi.

Chegini dan Aghtouman (2006) juga melakukan uji model fisik untuk mengetahui stabilitas unit lapis lindung dengan menggunakan *antifer cubes*. Pegujian dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh dari parameter gelombang dan kemiringan struktur, dimana pada formula stabilitas untuk batu pecah, *cubes*, *tetrapod*, dan *acropode* oleh Van der Meer hanya terbatas pada satu *cross-section* (satu kemiringan dan satu permeabilitas). Hasil dari pengujian Chegini dan Aghtouman (2006) ditampilkan dalam hubungan antara variasi angka stabilitas dan *wave steepness* pada gambar 2.2. dari gambar tersebut dapat disimpulkan dengan bertambahnya periode gelombang, stabilitas unit lapis pelindung juga bertambah. Hasil yang sama juga disimpulkan oleh Van der Meer.



**Gambar 2.2** Perbandingan stabilitas antifer *cubes* (Chegini and Aughtoman, 2006) dan *cubes* (Van der Meer, 1988)

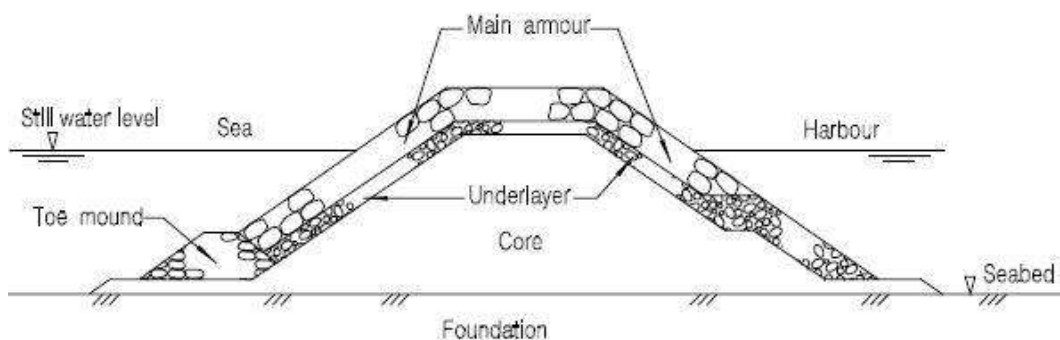
## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Struktur Pelindung Pantai

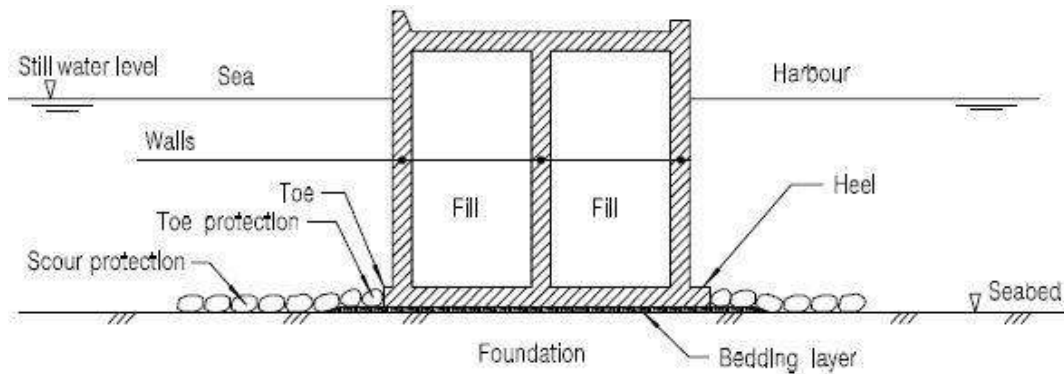
Struktur pelindung pantai dibangun untuk mengendalikan erosi yang terjadi dan juga untuk merawat kondisi pantai. Oleh karena itu perencanaan struktur pengaman pantai merupakan solusi bagi permasalahan pantai. Terdapat beberapa macam struktur pelindung pantai yang dilihat bentuk dan fungsinya.

Pada umumnya langkah-langkah yang direncanakan untuk memberikan stabilitas terhadap pantai dibedakan kedalam dua kelas (CERC, SPM, Vol 1, 1984). Yang pertama adalah struktur yang dipergunakan untuk menjaga agar gelombang yang besar tidak menjangkau kawasan pantai dermaga ataupun pelabuhan. Contoh struktur ini adalah *breakwater*, *seawall*, *bulkheads* dan *revetment*. Yang kedua, struktur buatan yang digunakan untuk mengurangi laju sedimen transport sepanjang pantai, baik yang sejajar dengan garis pantai maupun pada arah yang tegak lurus garis pantai. Contoh dari struktur ini adalah *groin* dan *jetty*.

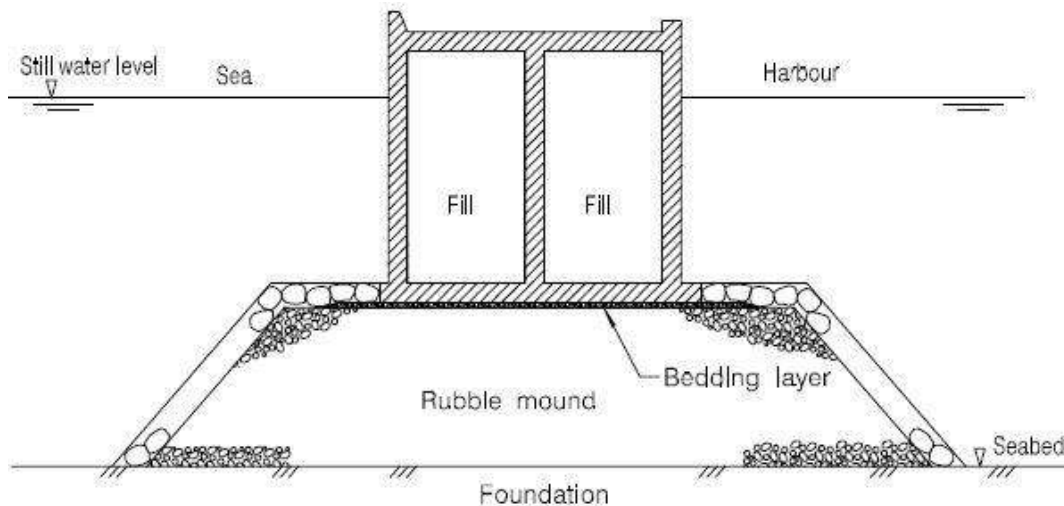
Berdasarkan bentuknya, bangunan pelindung pantai seperti *breakwater* dan *seawall* dibedakan menjadi bangunan sisi miring, sisi tegak, dan campuran keduanya. Bangunan sisi miring biasanya tersusun dari tumpukan batuan atau *rubble mound* sebagai lapisan utama dan lapisan dibawahnya tersusun dari batuan yang memiliki berat 1/10 dari berat batuan pada lapisan utama. Bangunan sisi tegak salah satu contohnya adalah terbuat dari *caisson*. Sedangkan untuk bangunan pelindung pantai yang terdiri dari campuran keduanya, tersusun dari bangunan sisi miring yang menjadi pondasi dan sisi tegak sebagai bangunan di atasnya.



**Gambar 2.3** Bangunan pantai sisi miring, *breakwater* (CED, 2003)



**Gambar 2.4** Bangunan pelindung pantai sisi tegak, *caisson breakwater*  
(CED, 2003)



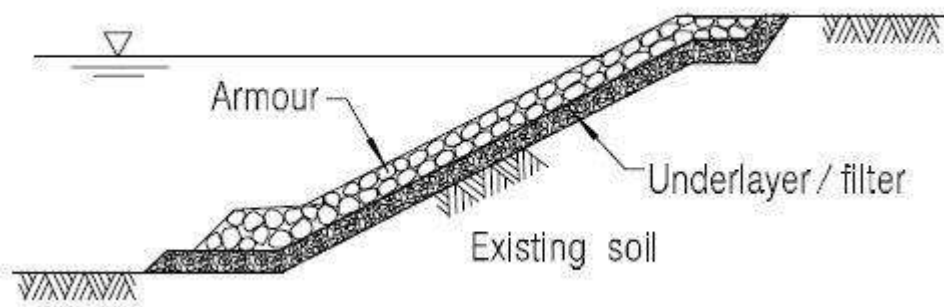
**Gambar 2.5** Bangunan pelindung pantai campuran, *composite breakwater*  
(CED, 2003)

Penjelasan mengenai bangunan pelindung pantai akan difokuskan pada bangunan pelindung pantai sisi miring seperti *seawall*. *Seawall* atau tembok laut merupakan salah satu bangunan yang berfungsi sebagai pelindung daratan yang ada dibelakangnya. Bangunan ini digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus. Sesuai dengan fungsinya tersebut, *seawall* dikelompokkan dalam konstruksi yang dibangun sejajar dengan garis pantai (Triatmodjo, 1999). Bangunan ini membatasi secara langsung bidang daratan dengan air laut dan digunakan untuk melindungi pantai berlumpur atau berpasir. *Seawall* juga dapat dikategorikan pelindung pantai yang berbentuk tegak maupun yang berbentuk miring. Bentuk ini menyesuaikan dengan fungsi tembok laut

dibangun, misalnya apabila tembok laut digunakan sebagai pelabuhan dan tempat kapal bersandar maka tembok laut dibentuk bersisi tegak sedangkan apabila tembok laut dibentuk miring, ini dikarenakan sisi miring lebih kuat menghadapi hantaman gelombang. Tembok laut tidak bersifat meredam gelombang melainkan bersifat memantulkan gelombang dan biasanya kedap air. Karena sifatnya yang memantulkan gelombang maka analisis refleksi pada tembok laut sangat penting untuk dilakukan dalam proses desain tembok laut. Selain itu, stabilitas tembok laut juga perlu diperhitungkan apabila berada di pantai berpasir maupun berlumpur dan mendapatkan gaya gelombang yang cukup besar.

Beberapa macam masalah stabilitas yang timbul pada tembok laut adalah :

- a. Hilangnya gaya dukung pasir akibat getaran.
- b. Penggeseran arah horizontal.
- c. Penggulingan.
- d. Kegagalan pondasi bangunan karena penggeseran, daya dukung tanah terlampaui dan gerusan.
- e. Apabila terusun dari *rubble mound*, stabilitas batuan dari lapisan utama sangat perlu diperhatikan karena rawan terhadap keruntuhan.



**Gambar 2.6** *Rubble mound seawall* (CED,2003)

### 2.2.2 Batu Lapis Pelindung

*Seawall* biasanya dibuat dari beton atau turap baja/kayu yang dilindungi oleh lapis pelindung dari batu besar atau beton dengan bentuk tertentu dan memiliki kemiringan dengan sudut tertentu. Batu lapis pelindung mempunyai sifat fleksibel. Kerusakan yang terjadi karena serangan gelombang tidak secara tiba-tiba.



Meskipun beberapa batu longsor tetapi bangunan masih bisa berfungsi. Kerusakan yang terjadi mudah diperbaiki dengan menambah batu pelindung pada bagian yang longsor.

Biasanya butir batu lapis pelindung disusun dalam beberapa lapis, dengan lapis terluar (lapis pelindung) terdiri dari batu dengan ukuran besar dan semakin ke dalam ukurannya semakin kecil. Stabilitas batu lapis pelindung tergantung pada berat dan bentuk butiran serta kemiringan sisi bangunan (Triatmodjo, 1999). Bentuk butiran akan mempengaruhi kaitan antara butir batu yang ditumpuk. Butir batu dengan sisi tajam akan mengait (mengunci) satu sama lain dengan lebih baik sehingga lebih stabil. Batu-batu pada lapis pelindung dapat diatur peletakannya untuk mendapat kaitan yang cukup baik atau diletakkan secara sembarangan. Semakin besar kemiringan memerlukan batu semakin berat. Berat butir batu dapat mencapai beberapa ton. Kadang-kadang sulit mendapatkan batu seberat itu dalam jumlah yang sangat besar. Untuk mengatasinya maka dibuat batu buatan dari beton dengan bentuk tertentu.

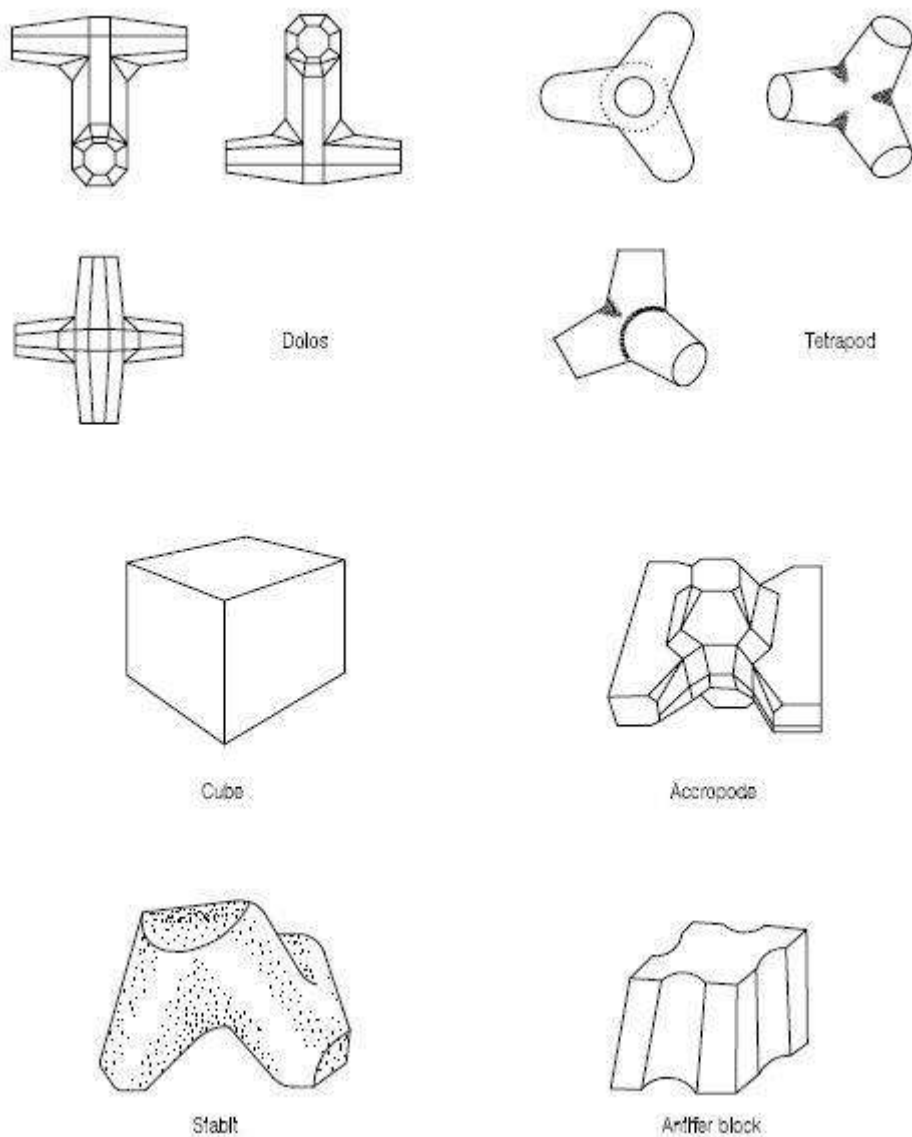
Terdapat bermacam-macam jenis batu buatan yang digunakan sebagai batu pelindung pengganti batu alam. Batu buatan ini dikembangkan oleh beberapa negara dengan memiliki bentuk dan tingkat stabilitas yang berbeda-beda. Perkembangan batu buatan dapat dilihat pada tabel 2.1 dan juga gambar 2.7.

**Tabel 2.1** Jenis-jenis batu buatan (Zuhdan, 2012)

Armour Unit	Country	Year	Armour Unit	Country	Year
Cube	-	-	Shed	UK	1982
Tetrapod	France	1950	Haro	Belgium	1984
Tribar	USA	1958	Hollow Cube	German	1991
Modified Cube	USA	1959	Core loc	USA	1995
Stabit	UK	1961	Ecopode	France	1996
Akmon	NL	1962	Accropoder	France	1996
Tripod	NL	1962	AJack	USA	1998
Dolos	RSA	1963	Diahtis	Ireland	1998
Cob	UK	1969	Samoa Block	USA	2002
Artifer Cube	France	1973	Xbloc	Nederland	2003
Seabee	Australia	1978	Accropode-II	France	2004
Accropode	France	1981	Core loc-II	USA	2006

Selain dari beberapa negara di Eropa dan Amerika, Indonesia melalui Balai Pengembangan Daerah Pesisir BPPT Yogyakarta juga turut mengembangkan batu buatan sebagai unit lapis pelindung pada bangunan sisi miring. BPPT Yogyakarta

mengembangkan batu yang diberi nama BPPT-lock. BPPT-lock ini memiliki karakteristik yang hampir serupa dengan xblok yang dikembangkan di Belanda. BPPT-lock diharapkan diharapkan lebih unggul secara teknis maupun ekonomis sehingga dapat diterima dengan baik oleh pemerintah dan masyarakat umum untuk digunakan di Indonesia.



**Gambar 2.7** Contoh beberapa jenis batu buatan



**Gambar 2.8** Prototip Xblok (Hakenberg, 2004)



**Gambar 2.9** Prototip BPPT-lock (Zuhdan, 2012)

Dalam menentukan berat unit lapis pelindung, persamaan yang paling sering digunakan adalah persamaan yang diberikan oleh Hudson. Triatmodjo (1999), dalam bukunya memberikan persamaan Hudson untuk menghitung stabilitas batu pelindung dengan tipe *rubble mound*. Hudson memberikan rumus cara untuk menentukan berat butir lapis pelindung, yaitu:

$$W_r = \frac{\gamma_r H s^3}{K_D \left( \frac{\gamma_r}{\gamma_a} - 1 \right)^3 \cot \theta} \quad (2.1)$$

Dengan,

- $W$  = berat struktur (kg)
- $\gamma_r$  = berat jenis model ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\gamma_a$  = berat jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )
- $H_s$  = tinggi gelombang signifikan (m)
- $\Theta$  = sudut kemiringan struktur
- $K_D$  = koefisien stabilitas

Koefisien stabilitas pada persamaan di atas tergantung pada bentuk batu pelindung, kekasaran permukaan batu, ketajaman sisi-sisinya, ikatan antar butiran, dan keadaan pecahnya gelombang. Koefisien stabilitas dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** koefisien stabilitas  $K_D$  untuk berbagai jenis butir lapis pelindung  
(Triatmdjo, 1999)

Lapis Lindung	n	Penempatan	Lengan bangunan		Ujung (kepala) bangunan		Kemiringan
			K <sub>D</sub>		K <sub>O</sub>		
			Gel. Pecah	Gel. Tidak pecah	Gel pecah	Gel. Tidak pecah	Cot θ
Batu Pecah							
Bulat halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5 -3,0
Bulat halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	x <sup>2</sup>
Bersudut kasar	1	Acak	x <sup>1</sup>	2,9	x <sup>1</sup>	2,3	x <sup>2</sup>
Bersudut kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,9	3,2	1,5
					1,6	2,8	2,0
					1,3	2,3	3,0
Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	x <sup>2</sup>
Bersudut kasar	2	Khusus x <sup>3</sup>	5,8	7,0	5,3	6,4	x <sup>2</sup>
Paralelepipedum	2	Khusus	7,0 -20,0	8,5 – 24,0	-	-	
Tetrapod dan Quadripod	2	Acak	7,0	8,0	5,0	6,0	1,5
					4,5	5,5	2,0
					3,5	4,0	3,0
Tribar	2	Acak	9,0	10,0	8,3	9,0	1,5
					7,8	8,5	2,0
					6,0	6,5	3,0
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,0	16,0	2,0
					7,0	14,0	3,0
Kubus dimodifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	5,0	x <sup>2</sup>
Hexapod	2	Acak	8,0	9,5	5,0	7,0	x <sup>2</sup>
Tribar	1	seragam	12,0	15,0	7,5	9,5	x <sup>2</sup>
Batu Pecah (K <sub>RR</sub> ) (graded angular)		Acak	2,2	2,5	-	-	

### 2.2.3 Karakteristik Gelombang

Sifat gelombang yang bergerak menuju pantai selain dipengaruhi oleh parameter dan karakter gelombang itu sendiri, juga sangat dipengaruhi oleh kedalaman air dan bentuk profil pantainya (*beach profile*). Dalam penjalarannya dari laut dalam menuju pantai, partikel gelombang bergerak dengan lintasan seperti lingkaran dan mempunyai kecepatan partikel sendiri (*orbital velocity*). Lingkaran tersebut dari

atas ke bawah semakin mengecil sehingga energi terbesar ada pada permukaan laut. Pada puncak lingkaran, lintasan partikel air disebut dengan puncak gelombang dan pada bagian bawah disebut dengan lembah gelombang. Saat gelombang semakin dekat dengan pantai, maka bagian bawah gelombang terjadi gesekan dengan dasar laut dan bentuk lintasan partikel gelombang semakin pipih kemudian terbentuklah gelombang pecah. Di dasar laut terjadi putaran air yang dapat membawa material dasar laut yang menyebabkan perubahan pada profil pantai.

Parameter penting untuk menjelaskan gelombang air adalah panjang gelombang, tinggi gelombang, dan kedalaman air. Parameter lain seperti kecepatan dan percepatan dapat ditentukan dari ketiga parameter utama di atas. Penjelasan mengenai parameter gelombang adalah sebagai berikut:

1. Periode gelombang (T), adalah waktu yang diperlukan gelombang dalam membentuk satu gelombang secara utuh. Periode ini dapat diukur dengan melihat dua puncak gelombang berurutan yang melewati suatu titik acuan tertentu.
2. Panjang gelombang (L), adalah jarak horizontal antara dua puncak gelombang yang berurutan atau bisa dikatakan sebagai jarak horizontal antara dua lembah gelombang yang berurutan.
3. Cepat rambat gelombang (C), adalah perbandingan antara panjang gelombang dan periode. Ketika gelombang air menjalar dengan kecepatan C, partikel air tidak turut bergerak ke arah perambatan gelombang.
4. Amplitudo gelombang (A), adalah jarak antara puncak/titik tertinggi gelombang atau lembah/titik terendah gelombang dengan muka air tenang (H/2).

Karakteristik gelombang dipengaruhi oleh parameter yang sudah disebutkan sebelumnya. Untuk menghitung panjang gelombang di laut dangkal dari panjang gelombang di laut dalam dan periode gelombang, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.2)$$

$$2\pi \frac{h}{L} = \sqrt{\left(2\pi \frac{h}{L_o}\right) \left(1 + \frac{1}{6} 2\pi \frac{h}{L_o} + \frac{11}{360} \left(2\pi \frac{h}{L_o}\right)^2\right)} \quad (2.3)$$

Dengan,

$L_o$  = panjang gelombang di laut dalam (m)

$T$  = periode gelombang (detik)

$L$  = panjang gelombang di laut dangkal (m)

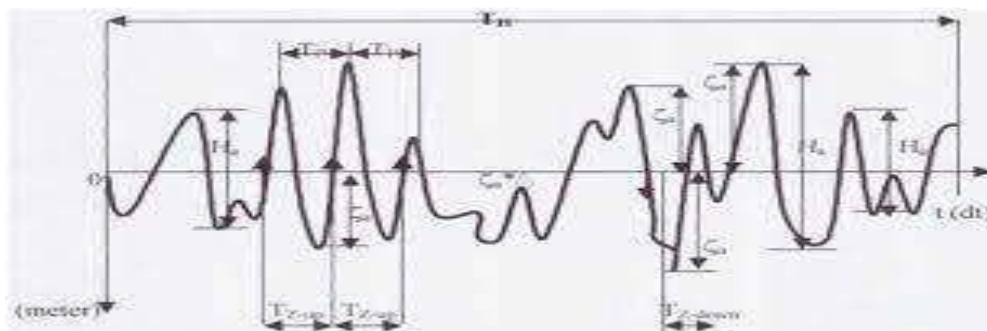
$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$h$  = kedalaman air (m)

#### 2.2.4 Gelombang Irregular

Gelombang dibedakan menjadi gelombang reguler dan gelombang irregular. Gelombang irregular merupakan gelombang acak yang pada tiap-tiap gelombang memiliki tinggi dan periode gelombang yang berbeda. Secara umum, gelombang di laut sangat kompleks dan sulit untuk digambarkan secara matematis, diakibatkan oleh ketidaklinernya. Menurut Bhattacharyya (1972), gelombang ireguler memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

1. Permukaan gelombang merupakan permukaan yang tidak beraturan.
2. Permukaan gelombang yang tidak beraturan selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat ke tempat, tergantung oleh kecepatan angin.
3. Pada setiap interval, pola gelombang ireguler tidak pernah berulang (selalu berubah).



**Gambar 2.10** Penggambaran pola gelombang irregular (Bhattacharyya, 1972)

Dengan,

$\gamma$  = elevasi gelombang

$\gamma_a$  = amplitude gelombang semu (*apparent wave amplitude*)

$H$  = tinggi gelombang semu (*apparent wave height*)

$T_r$  = periode lintas nol semu (*apparent zero closing period*)

$T_c$  = periode semu (*apparent period*)

### 2.2.5 Gaya Gelombang yang mengenai struktur

Bangunan pelindung pantai sisi miring tipe *rubble mound* merupakan bangunan pelindung pantai yang tersusun atas tumpukan batuan. Batuan ini didesain untuk dapat menahan gaya gelombang yang mengenai struktur tersebut dan diharapkan mampu untuk tetap stabil pada tempatnya. Batu pelindung tersebut dibuat seberat mungkin namun tetap ekonomis sehingga tidak mengalami perpindahan saat terkena terjangan gelombang sampai ketinggian tertentu.

Gaya gelombang yang bekerja pada struktur adalah gaya hidrodinamis. Gaya hidrodinamis memberikan efek angkat dan gaya seret terhadap unit batu pelindung. Sedangkan unit batu pelindung mencoba menahan gaya hidrodinamis gelombang dengan gaya inersia. Hubungan antara ketiganya ditampilkan pada gambar 2.3. Burcharth (1994), merumuskan gaya-gaya tersebut sebagai berikut :

- Gaya angkat  $F_L = C_L \cdot \rho_w A \bar{v} |v|$  (2.4)

- Gaya seret  $F_D = C_D \cdot \rho_w A \bar{v} |v|$  (2.5)

- Gaya inersia  $F_I = C_I \cdot \rho_w v \frac{dv}{dt}$  (2.6)

Dengan,

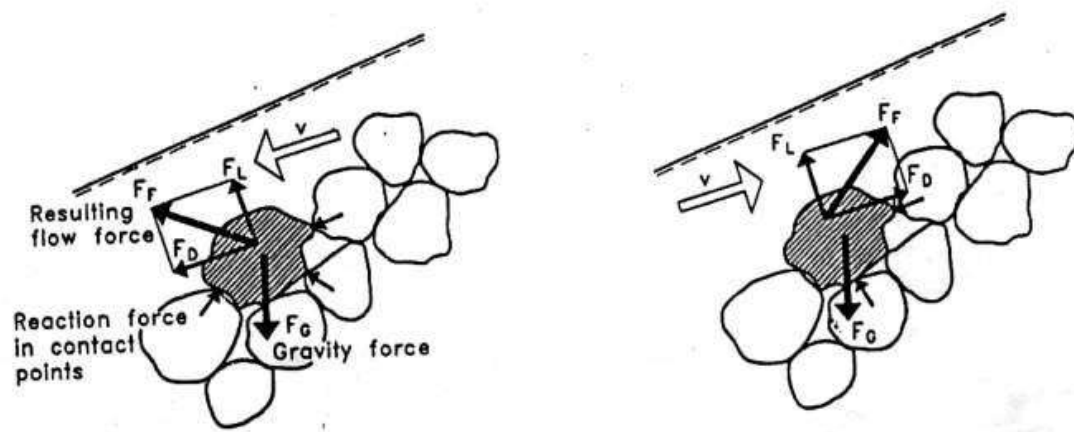
$\rho_w$  = massa jenis air

$A$  = luas penampang yang tegak lurus arah kecepatan  $v$

$V$  = volume batu

$C_D, C_L, C_I$  = koefisien drag, lift, dan inersia

Sedangkan gaya penahan merupakan gaya gravitasi batuan,  $F_G$ . Gaya-gaya tersebut di atas dapat dilihat pada gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Skema gaya pada unit lapis pelindung akibat serangan gelombang  
(Burcharth, 1994)

### 2.2.6 Pemodelan Fisik

Dasar dari semua pemodelan fisik adalah model dibuat agar bisa berperilaku hampir sama dengan prototipenya sehingga model fisik dapat digunakan untuk memprediksi prototipe pada keadaan sebenarnya dibawah kondisi yang ditentukan. Meskipun terdapat kemungkinan hasil dari pemodelan fisik tidak mewakili perilaku prototype karena efek dari skala dan faktor laboratorium. Akan tetapi, perlu diketahui bahwa aturan untuk melakukan pemodelan fisik adalah meminimalisir efek penyekalaan dengan mengerti dan menggunakan prinsip kesamaan sebaik mungkin dan meminimalisir efek laboratorium dengan mengoperasikan model dengan cermat dan berhati-hati. Keuntungan digunakan pemodelan fisik antara lain model fisik mengintegrasikan semua persamaan tanpa adanya penyederhanaan asumsi, menyediakan data yang akurat, tetapi biasanya membutuhkan biaya yang tinggi dan memuat variabel alam yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data.

Terdapat beberapa hal yang dapat dilakukan agar hasil yang diperoleh pada saat melakukan pengujian mampu mewakili kondisi sebenarnya yang ada di lapangan, yaitu:

1. Keserupaan anatar prototipe dengan model
2. Analisa dimensi
3. Peralatan yang digunakan



Keserupaan antara prototipe dengan model fisik dapat diperoleh jika semua faktor yang mempeengaruhi reaksi, berada pada porsi yang sesuai antara kondisi sebenarnya dengan model. Tiga kondisi umum di bawah ini harus dipenuhi agar fenomena-fenomena yang terjadi di prototipe dapat dimodelkan dengan baik (model similitude) (Hughes, 1993):

### 2.2.5.1 Keserupaan Geometrik

Keserupaan geometrik atau kesebangunan geometrik dapat dipenuhi apabila rasio semua dimensi linier dari model dan prototipe yang sama. Hal ini berarti bahwa perbandingan semua ukuran panjang antara model dan prototipe harus sebanding. Hubungan ini hanya menunjukkan keserupaan dalam bentuk tidak dalam gerak (*motion*). Ada dua macam keserupaan geometrik, yaitu keserupaan geometrik tanpa distorsi (*undistorted model*) atau sempurna dan keserupaan geometrik dengan distorsi (*distorted model*). Keserupaan geometrik tanpa distorsi artinya skala panjang horizontal dan vertikal memiliki kesamaan, sedangkan keserupaan geometrik dengan distorsi artinya skala panjang horizontal dan vertikal memiliki perbedaan. Skala panjang model dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{l_m}{l_p} = \frac{b_m}{b_p} = \frac{d_m}{d_p} = \frac{h_m}{h_p} \quad (2.7)$$

Dengan,

$l_m$  = panjang model (m)

$l_p$  = panjang prototipe (m)

$b_m$  = lebar model (m)

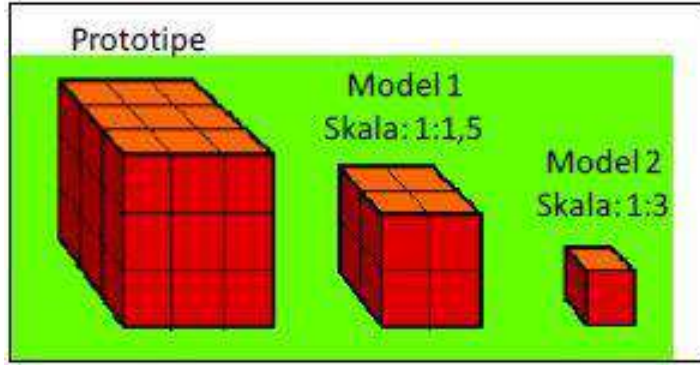
$b_p$  = lebar prototipe (m)

$d_m$  = tinggi model (m)

$d_p$  = tinggi prototipe (m)

$h_m$  = kedalaman air pada model (m)

$h_p$  = kedalaman air pada prototipe (m)



**Gambar 2.12** Gambaran keserupaan geometri (Semeidi, 2015)

Pada *undistorted model* dapat ditentukan :

- Skala luas

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(\text{panjang} \times \text{lebar})_p}{(\text{panjang} \times \text{lebar})_m} = (n_L)^2 \quad (2.8)$$

- Skala volume

$$n_V = \frac{V_p}{V_m} = (n_L)^3 \quad (2.9)$$

Untuk *distorted model* ditentukan sebagai berikut :

- Skala luas pada posisi horisontal

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(\text{panjang} \times \text{lebar})_p}{(\text{panjang} \times \text{lebar})_m} = (n_L)^2 \quad (2.10)$$

- Skala luas pada posisi vertikal

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(\text{panjang} \times \text{lebar})_p}{(\text{panjang} \times \text{lebar})_m} = n_L \times n_H \quad (2.11)$$

- Skala volume

$$n_V = \frac{V_p}{V_m} = (n_L)^2 \times n_H \quad (2.12)$$

$$n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_L^3}{n_T} \quad (2.13)$$

### 2.2.5.2 Keserupaan Kinematik

Keserupaan kinematik mengindikasikan kesamaan gerak partikel antara model dengan prototipe. Keserupaan kinematik dipenuhi apabila rasio antara komponen semua gerak vektor dari model dan prototipe sama untuk semua partikel dan waktu. Berdasarkan keserupaan kinematik, nilai-nilai skala antara model dan prototipe dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Skala waktu,

$$\frac{t_{m1}}{t_{p1}} = \frac{t_{m2}}{t_{p2}} = \frac{t_{m3}}{t_{p3}} \quad (2.14)$$

- Skala kecepatan,

$$\frac{v_{m1}}{v_{p1}} = \frac{v_{m2}}{v_{p2}} = \frac{v_{m3}}{v_{p3}} \quad (2.15)$$

- Skala percepatan,

$$\frac{f_{m1}}{f_{p1}} = \frac{f_{m2}}{f_{p2}} = \frac{f_{m3}}{f_{p3}} \quad (2.16)$$

### 2.2.5.3 Keserupaan Dinamik

Keserupaan dinamik adalah keserupaan model dan prototipe yang paling kompleks karena mensyaratkan keserupaan skala panjang, skala waktu, dan skala gaya. Seluruh vektor gaya yang bekerja harus memiliki keserupaan dan bekerja pada arah yang sama. Keserupaan dinamik dirumuskan melalui hukum Newton II. Sebagai ukuran gaya di model dan prototipe digunakan suatu besaran yang disebut gaya inersia, yang besarnya didapat dari persamaan  $F = m.a$ . Perbandingan gaya-gaya yang bekerja dengan gaya inersia memberikan nilai kesebangunan dinamik. Gaya-gaya tersebut meliputi gaya inersia, gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek (viskositas), gaya kenyal dan gaya tegangan permukaan.

$$\vec{F}_i = \vec{F}_g + \vec{F}_\mu + \vec{F}_\sigma + \vec{F}_E + \vec{F}_\rho \quad (2.17)$$

Dengan,

$$\vec{F}_i = \text{gaya inersia}$$

$\vec{F}_g$  = gaya gravitasi

$\vec{F}_\mu$  = gaya gesek

$\vec{F}_\sigma$  = gaya elastis

$\vec{F}_\rho$  = gaya tekanan

Dari persamaan di atas, sangat sulit untuk memenuhi keserupaan dinamik secara menyeluruh dengan hanya menggunakan fluida yang sama di model dan di prototipe. Kestimbangan dinamik dapat diekspresikan sebagai perbandingan gaya-gaya tersebut di atas sebagai bilangan tak berdimensi dan dinyatakan dalam kriteria seperti *Froude Number*, *Reynold Number*, *Euler Number*, *Weber Number* atau *Cauchy Number*.

Kriteria di atas untuk perbandingan prototipe dan model haruslah sama dan dinyatakan sebagai berikut:

- *Froude Number* 
$$\left(\frac{v}{\sqrt{gL}}\right)_p = \left(\frac{v}{\sqrt{gL}}\right)_m \quad (2.18)$$

- *Reynold Number* 
$$\left(\frac{\rho v L}{\mu}\right)_p = \left(\frac{\rho v L}{\mu}\right)_m \quad (2.19)$$

- *Euler Number* 
$$\left(\frac{P}{\rho v^2}\right)_p = \left(\frac{P}{\rho v^2}\right)_m \quad (2.21)$$

- *Weber Number* 
$$\left(\frac{\rho v^2 L}{\sigma}\right)_p = \left(\frac{\rho v^2 L}{\sigma}\right)_m \quad (2.22)$$

- *Cauchy Number* 
$$\left(\frac{\rho v^2}{E}\right)_p = \left(\frac{\rho v^2}{E}\right)_m \quad (2.23)$$

### 2.2.7 Kelebihan Pemodelan Fisik

Model fisik digunakan untuk memodelkan fenomena pantai ataupun memodelkan fenomena lain yang membutuhkan pemodelan fisik untuk membuktikan teori yang sudah ada atau memperoleh teori baru. Hasil dari pemodelan fisik dapat digunakan untuk perhitungan dan analisis. Terdapat beberapa keuntungan yang didapatkan dari pemodelan fisik, yaitu:

- Dalam pemodelan fisik, persamaan yang dipakai tanpa menyederhanakan asumsi yang biasanya digunakan untuk model analitis atau model numerik.

- Adanya model dalam skala kecil akan mempermudah pencatatan data dan pengurangan biaya, bila dibandingkan dengan pengumpulan data lapangan tentu lebih sulit dan mahal dan juga pengukuran data lapangan yang simultan sulit dipakai.

Keuntungan dari pemodelan fisik adalah adanya kebebasan dalam melakukan percobaan yang memungkinkan dibuat simulasi keadaan yang ada di alam yang sangat bervariasi. Penggunaan model fisik sampai saat ini masih merupakan metode alternatif terbaik untuk meneliti dan memverifikasi penyelesaian dalam bidang rekayasa teknik pantai ataupun bidang yang laut.

#### **2.2.8 Kerugian Model Fisik**

Selain memiliki keuntungan, pemodelan fisik juga memiliki kerugian apabila dalam pengerjaannya tidak dilakukan dengan seksama. Terdapat beberapa kesalahan (*error*) yang mungkin terjadi , diantaranya:

- Efek laboratorium dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan, karena ketidakmampuan untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistis serta adanya pengaruh keterbatasan yang dimiliki model terhadap proses yang disimulasikan.
- Efek skala sering muncul sebagai suatu kelemahan pemodelan fisik karena umumnya hanya dua gaya di alam yang diterapkan sementara gaya-gaya lain diabaikan. Ini terjadi karena model dibuat lebih kecil dari prototipe sehingga tidak mungkin memodelkan semua variabel yang relevan dalam hubungan yang benar satu sama lain.
- Pemodelan fisik relatif lebih mahal dibandingkan dengan model numerik.

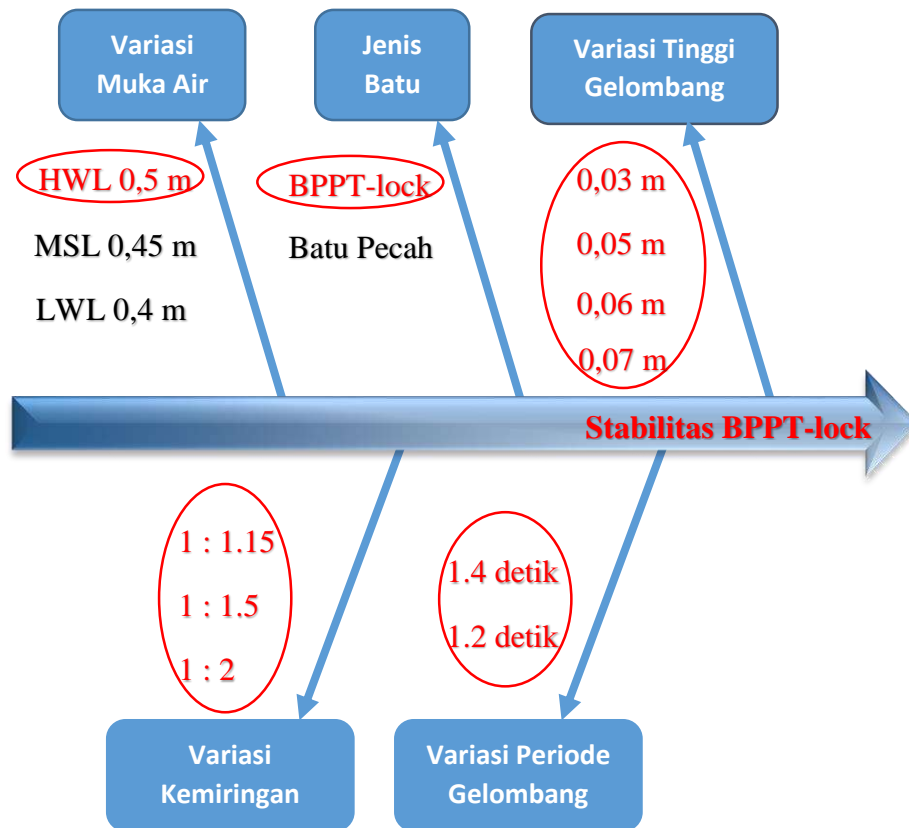
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam melakukan uji model fisik struktur *seawall*, dilakukan oleh beberapa pihak yang akan melakukan penelitian dengan topik bahasan yang berbeda-beda. Gambaran umum mengenai penelitian dengan uji model fisik struktur *seawall* dapat dilihat pada diagram di bawah ini.

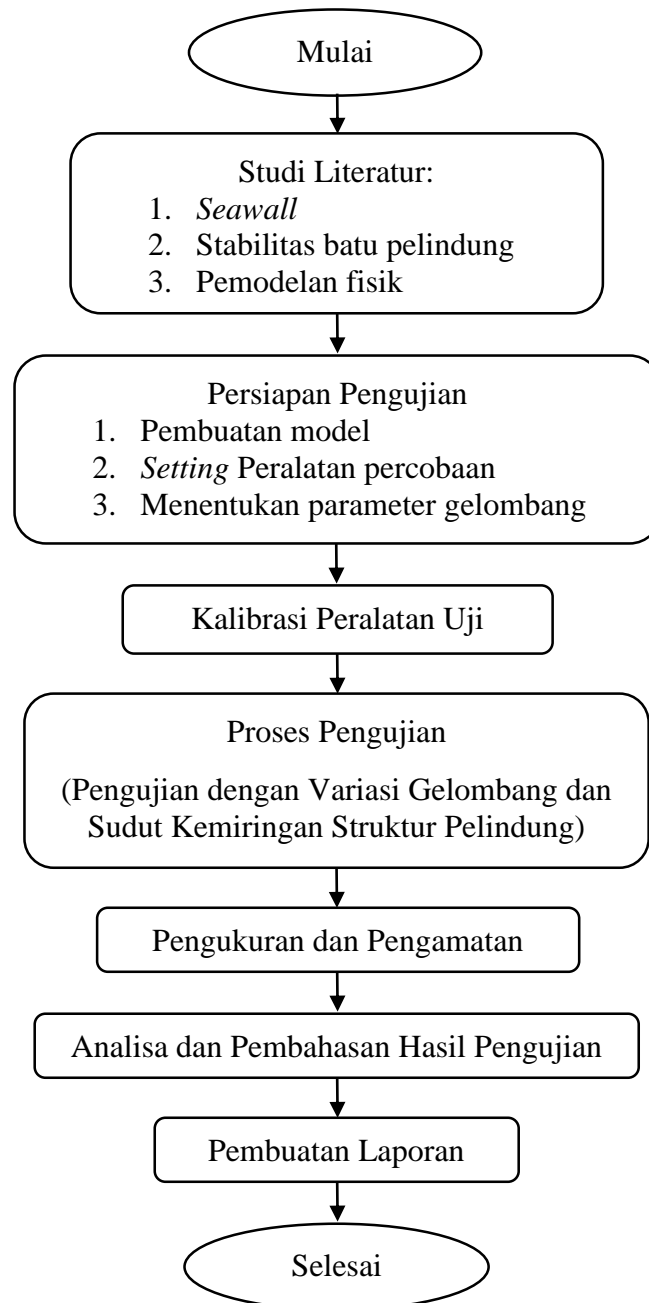


**Gambar 3.1** Diagram Tulang Ikan Penelitian

Diagram ikan di atas merupakan penggambaran garis besar penelitian yang akan dijalankan oleh tujuh orang peneliti. Dari diagram ikan di atas dapat di ambil tujuh topik penelitian dengan variasi yang berbeda-beda. Untuk penelitian dalam tugas akhir ini, variasi yang dilakukan ditunjukkan dengan warna merah. Jenis analisa yang dilakukan adalah analisa stabilitas dengan menggunakan batu BPPT-lock. Kemudian dilakukan variasi kemiringan pada lereng unit lapis pelindung dengan

menggunakan kedalaman air di depan struktur sebesar 50 cm. Pada penelitian ini juga akan dilakukan variasi tinggi dan periode gelombang.

Untuk menganalisa stabilitas unit lapis pelindung BPPT-lock pada *seawall*, terdapat beberapa tahapan persiapan penelitian yang perlu dilakukan. Tahapan tersebut dapat dilihat pada diagram alir penelitian di bawah ini:



**Gambar 3.2** Diagram Alir Penelitian



### 3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Diagram alir di atas digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian. Tahap-tahap penelitian harus runtut sesuai dengan diagram alir yang sudah dibuat. Penjelasan mengenai diagram alir dijelaskan di bawah ini:

#### 3.2.1 Studi Literatur

Tahapan awal dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pemahaman materi dengan cara mempelajari literatur-literatur yang terkait dan menunjang proses penelitian. Literatur tersebut dapat berupa buku, jurnal ilmiah, maupun tugas akhir. Pengujian stabilitas unit lapis pelindung BPPT-lock pada *seawall* dilakukan di dalam *flume tank* yang berada di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut, Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS.

#### 3.2.2 Persiapan Pengujian

Dalam melakukan persiapan pengujian, kondisi yang ada dalam eksperimen diatur dan dibuat oleh peneliti dengan mengacu pada literatur yang berkaitan dengan penelitian tersebut. Hal ini disertai kontrol dengan adanya tujuan penelitian dan batasan-batasan masalah yang sudah ditentukan. Persiapan pengujian ini meliputi persiapan peralatan pengujian, persiapan model, dan penentuan variasi parameter gelombang.

##### 3.2.2.1 Persiapan Alat Pengujian

Penelitian ini bersifat eksperimental dan akan dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS. Sebelum melakukan pengujian, diperlukan persiapan peralatan yang akan digunakan dalam uji stabilitas struktur unit lapis pelindung BPPT-lock pada *seawall*. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kolam Gelombang / Tangki Saluran Gelombang (*Flume Tank*)

Uji model fisik struktur unit lapis pelindung BPPT-lock pada *seawall* ini akan dilakukan di dalam saluran gelombang yang disebut *flume tank*. *Flume tank* ini berada di dalam Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan. *Flume tank* ini berdimensi 20 m x 2 m x 1,5 m (panjang,

lebar, tinggi) dan memiliki tiga jenis pembangkit. Pertama adalah pembangkit gelombang, pembangkit gelombang ini dapat membangkitkan gelombang reguler dan irreguler dengan tinggi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 30 cm untuk gelombang reguler dan 7 cm untuk gelombang irreguler. Untuk besar periode berkisar antara 0,5 detik sampai 3,0 detik, dan kedalaman air maksimum sebesar 80 cm. Pembangkit gelombang ini menggunakan sistem *plunyer*. Kedua adalah pembangkit angin yang menggunakan sistem *blower* dengan kecepatan maksimum angin yang dapat dibangkitkan adalah 10 m/s. Ketiga adalah pembangkit arus yang menggunakan sistem *impeller* dengan rentang kecepatan 2,5 m/s hingga 10 m/s.



**Gambar 3.3** *Flume Tank*

## 2. *Wave Gauge System*

*Wave gauge system* merupakan serangkaian alat yang digunakan untuk mengukur tinggi dan periode gelombang. Komponen dari *Wave gauge*

*system* terdiri dari beberapa alat yang mempunyai fungsi masing-masing, diantaranya:

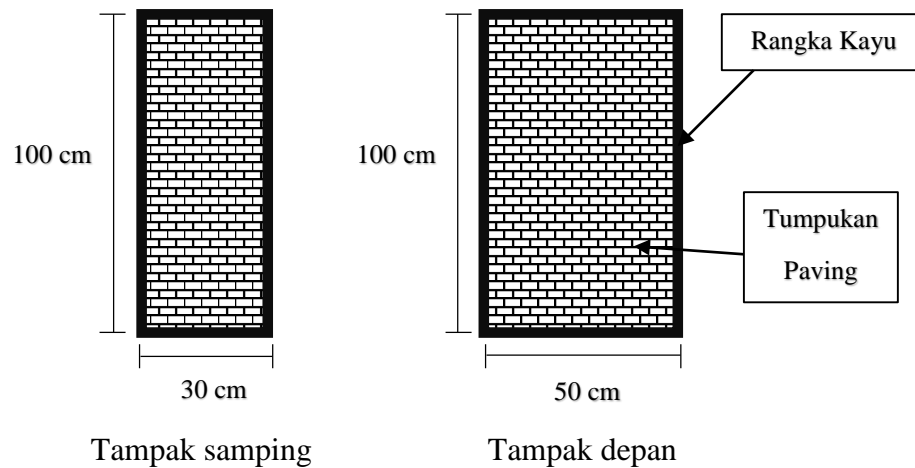
- *Wave probe*, yaitu alat yang digunakan untuk merekam tinggi gelombang dan periode gelombang yang diletakkan di saluran gelombang atau kolam gelombang.
- *Wave height meter*, merupakan alat pembacaan hasil fluktuasi permukaan air tenang dari sensor yang terdapat pada *wave probe*. Jika terjadi perubahan fluktuasi muka air, sensor *wave probe* akan bekerja mengirimkan sinyal ke *wave height meter*. Pada *wave height meter* akan terlihat perubahan voltase setiap ada perubahan  $x$  centimeter pada permukaan air.
- Kabel *wave probe*, digunakan untuk menghubungkan *wave probe* dengan *wave height meter*.

Pada prinsipnya *wave probe* menghitung elevasi muka air, kemudian elevasi muka air tersebut direferensikan terhadap *still water level* dengan metode *zero-up crossing* untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang.

#### **3.2.2.2 Persiapan Model**

Persiapan model ini didasarkan pada kondisi yang sudah dibuat dan diatur oleh peneliti. Model yang digunakan dalam pengujian adalah struktur *seawall* (gambar 3.4) dengan dinding tegak yang terbuat dari rangkaian kayu yang dibentuk balok dengan tinggi 100 cm, lebar 30 cm, dan panjang 50 cm. Kemudian rangka balok tersebut ditutup dengan menggunakan kayu lapis. Sebagai pemberat agar model *seawall* stabil pada posisinya, di bagian dalam diberi tumpukan paving.

Untuk unit lapis pelindung BPPT-lock (gambar 3.5) dan *seawall* dimodelkan tanpa distorsi (*undistorted model*), artinya skala arah horisontal dan arah vertikal dibuat sama. Panjang lengan dari ujung ke ujung model BPPT-lock sebesar 7 cm dan tinggi hidung dari bawah ke atas adalah 5 cm. Model merupakan penggambaran struktur asli atau prototipe yang diperkecil.



**Gambar 3.4** Penampang melintang model *seawall*

Dalam percobaan uji model fisik, sangat kecil atau bahkan tidak mungkin sebuah prototipe diaplikasikan di dalam laboratorium dengan ukuran aslinya. Oleh karena itu, perlu adanya penyekalaan untuk dapat menggambarkan prototipe di laboratorium. Keserupaan dalam model fisik sangat penting untuk dilakukan. Keserupaan dinamik dalam uji stabilitas unit lapis pelindung BPPT-lock ini banyak dipengaruhi oleh gravitasi, maka kriteria yang digunakan adalah bilangan Froude. Bilangan Froude dapat dijabarkan ke dalam persamaan di bawah ini:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gL}} = \frac{v^2}{gL}$$

Dengan  $Fr$  adalah bilangan Froude,  $v$  adalah kecepatan (m/s),  $g$  adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ), dan  $L$  adalah panjang spesifik (m). Nilai skala didapat dari perbandingan antara prototipe dan model. Pertama adalah menentukan skala panjang.

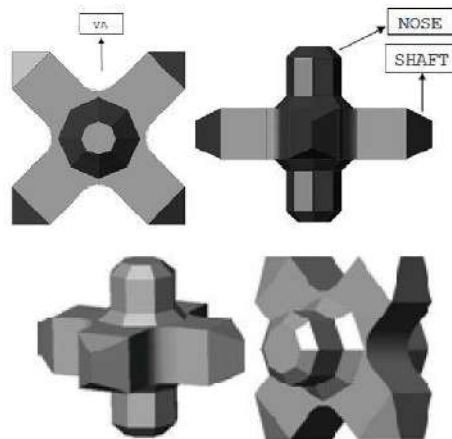
$$n_L = \frac{L_p}{L_m} = \frac{1,25}{0,5} = 25$$

Dengan demikian, skala yang digunakan dalam pemodelan adalah 1 : 25. Dari bilangan Froude, penyekalaan untuk parameter yang lain dapat diturunkan (Tabel 3.1).

**Tabel 3.1** Parameter skala model

Parameter	Notasi	Satuan	Prototipe	Model	Skala
Panjang spesifik	L	m	1,5	0,06	25
Tinggi gelombang	H	m	0,75	0,03	25
Periode Gelombang	T	detik	6	1,2	$\sqrt{25}$
Berat	W	Kg	1015	0,065	$25^3$

Konfigurasi susunan *seawall* dan unit lapis pelindung BPPT-lock dapat dilihat pada gambar 3.4. Model *seawall* diletakkan di dasar *flume tank* dan pada bagian depan *seawall* terdapat tumpukan batako dengan tinggi 20 cm dari dasar *flume tank* dan panjang 232 cm dari model *seawall* untuk menggambarkan kondisi dasar laut. Untuk menggambarkan kemiringan pantai, dibuat kemiringan 1:10 pada jarak 232 cm dari model *seawall*. Di atas tumpukan batako dan di depan model *seawall* terdapat susunan unit lapis pelindung. Dalam pengujian ini, akan dilakukan variasi kemiringan struktur unit lapis pelindung untuk mengetahui pengaruhnya terhadap stabilitas struktur unit lapis pelindung. Terdapat tiga variasi kemiringan yaitu, 1 : 1.15, 1 : 1.5, dan 1 : 2.



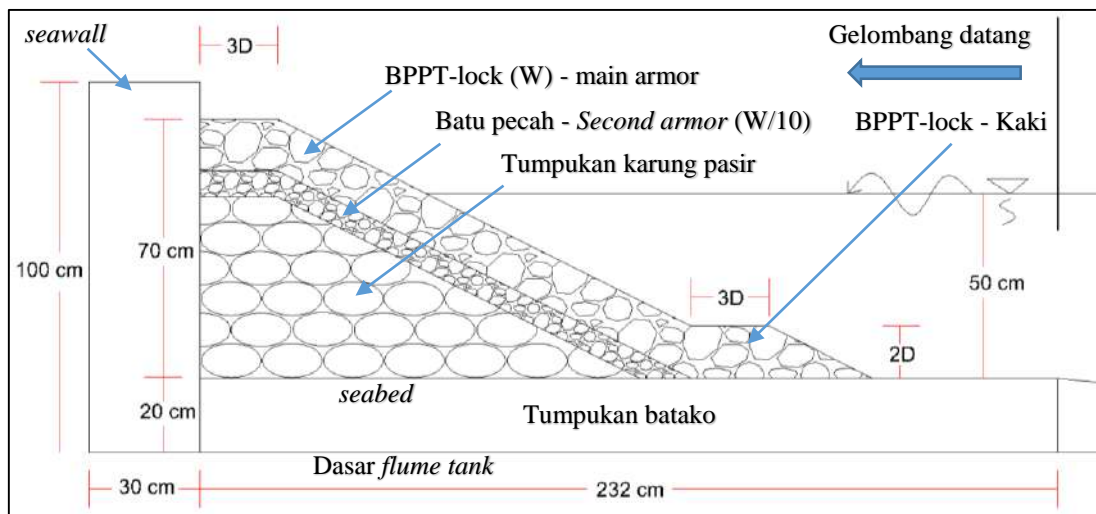
**Gambar 3.5** Model BPPT-lock (Sumber: Zuhdan, dkk. 2012)

Struktur unit lapis pelindung memiliki tiga bagian. Pertama adalah puncak struktur yang memiliki lebar tiga kali panjang lengan BPPT-lock. Kemudian ada lereng struktur unit lapis pelindung yang akan divariasikan kemiringannya. Terakhir adalah bagian kaki dari struktur unit lapis pelindung. Kaki ini memiliki tinggi dua

kali panjang lengan BPPT-lock dan lebar tiga kali panjang lengan BPPT-lock. Struktur unit lapis pelindung terdiri dari tiga lapis. Lapis pertama adalah susunan unit lapis pelindung BPPT-lock yang akan diamati stabilitasnya. Lapis kedua merupakan batu pecah dengan berat 1/10 berat BPPT-lock. Terakhir adalah tumpukan karung pasir yang digunakan sebagai inti dari struktur unit lapis pelindung. Penampang melintang model *seawall* dan unit lapis pelindung dapat dilihat pada gambar 3.6.

### 3.2.2.3 Penentuan Variasi Parameter Gelombang

Dalam melakukan pengujian, selain dilakukan variasi sudut kemiringan struktur unit lapis pelindung, juga dilakukan variasi tinggi gelombang dan periode gelombang. Penentuan variasi parameter gelombang tersebut disesuaikan dengan kemampuan mesin pembangkit gelombang yang akan digunakan dalam pegujian. Gelombang yang dibangkitkan adalah geombang irreguler dengan spektrum JONSWAP. Untuk lebih lengkapnya, variasi pengujian dapat dituliskan dalam tabel 3.2.



**Gambar 3.6** Penampang melintang model struktur *seawall*

**Tabel 3.2** Variasi tinggi gelombang dan sudut kemiringan struktur armor unit batu pelindung

Percobaan ke	Jenis Gelombang	Kemiringan	H.in cm	T.in detik
1	Ireguler	1:1,15	3	1.4
2			3	1.2
3			5	1.2
4			6	1.2
5			7	1.2
6		1:1,5	3	1.4
7			3	1.2
8			5	1.2
9			6	1.2
10			7	1.2
11		1:2	3	1.4
12			3	1.2
13			5	1.2
14			6	1.2
15			7	1.2

### 3.2.3 Kalibrasi Peralatan Uji

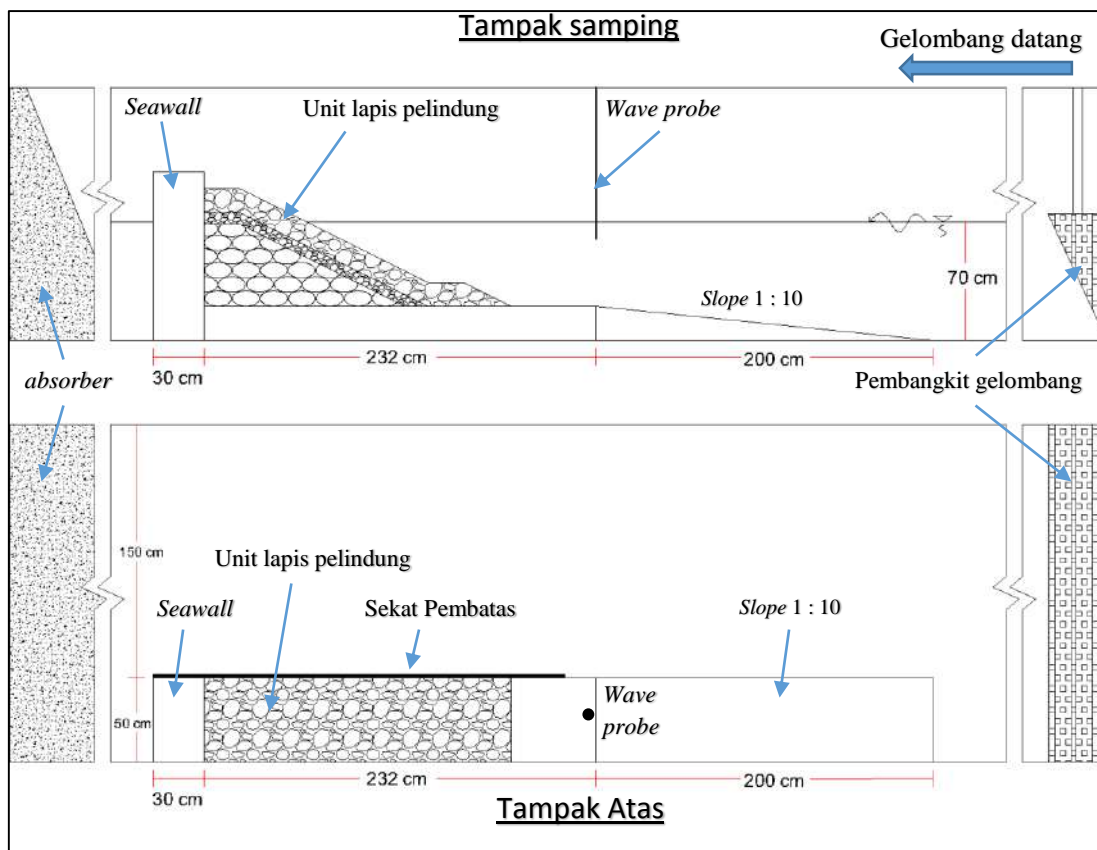
Untuk mengetahui seberapa jauh tingkat kesalahan atau seberapa baik alat percobaan dapat bekerja perlu dilakukan kalibrasi. Kalibrasi sensor fluktuasi muka air atau *wave probe* bertujuan untuk mendapatkan hubungan kesesuaian pada alat sensor pencatat perubahan fluktuasi muka air (*wave probe*) dan skala pembacaan pada *wave height meter* yang berupa voltase. Dari hubungan kesesuaian tersebut dapat dibentuk persamaan yang dapat digunakan sebagai alat untuk mengkonversi hasil *output* berupa voltase menjadi satuan panjang. Sehingga hasil *output* x volt dari hasil rekaman sama dengan y centimeter permukaan air (fluktuasi tinggi gelombang).

Cara untuk melakukan kalibrasi alat ukur gelombang (*wave probe*) adalah dengan menaik turunkan *wave probe* sebanyak 3 titik ke atas dan 3 titik ke bawah dengan mengacu pada titik nol yang sudah ditentukan. Untuk perubahan tiap satu titik adalah sebesar 5 cm. Dengan cara ini kemudian dapat dibentuk suatu persamaan sesuai yang sudah disebutkan sebelumnya.

Mesin pembangkit gelombang juga harus dilakukan kalibrasi untuk mengetahui hasil *output* tinggi gelombang yang dibangkitkan sudah sesuai dengan *input* tinggi gelombang. Hal ini bertujuan agar hasil pengujian memiliki nilai akurasi yang tinggi. Kalibrasi dilakukan dengan menjalankan mesin pembangkit gelombang dan memasukkan nilai tinggi gelombang tertentu, kemudian mengukur tinggi gelombang yang dibangkitkan.

### 3.2.4 Proses Pengujian

Pengujian model fisik dilakukan di kolam gelombang (*flume tank*) Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS. Model *seawall* dan struktur unit lapis pelindung disusun ke dalam *flume tank* seperti pada gambar 3.6 dan gambar 3.7. Setelah model terpasang pada *flume tank*, maka pengujian dapat dilakukan.



**Gambar 3.7** Tampak samping dan Tampak atas model uji di kolam uji



Pengujian dilakukan dengan melakukan variasi pada sudut kemiringan struktur unit lapis pelindung BPPT-lock pada *seawall* dan juga variasi tinggi gelombang serta periode gelombang. Variasi yang dilakukan dalam pengujian dapat dilihat pada tabel 3.1. Total pengujian yang akan dilakukan adalah sebanyak 18 kali. Gelombang yang dibangkitkan merupakan gelombang irreguler dengan spektrum JONSWAP. Kedalaman air di depan struktur adalah 50 cm. Untuk setiap variasi pengujian akan dibangkitkan masing-masing sebanyak 3000 gelombang.

### **3.2.5 Pengukuran dan Pengamatan**

Pengujian yang dilakukan untuk setiap satu variasi kemiringan dan satu variasi tinggi serta periode gelombang, dibangkitkan sebanyak 3000 gelombang. Pencatatan terhadap stabilitas atau pergerakan unit lapis pelindung dilakukan sebanyak 4 kali, yaitu pada saat 1500 gelombang, 2000 gelombang, 2500 gelombang, dan 3000 gelombang. Pada saat pengamatan, mesin pembangkit gelombang dihentikan terlebih dahulu dan setelah selesai melakukan pengamatan, mesin kembali dinyalakan. Sebelum *running* gelombang, dilakukan pengambilan gambar susunan struktur unit lapis pelindung. Pengambilan gambar juga dilakukan pada saat 1500 gelombang, 2000 gelombang, 2500 gelombang, dan 3000 gelombang. Tinggi gelombang dan periode gelombang direkam oleh *wave probe* yang diletakkan di depan model dan ditampilkan dalam bentuk voltase.

### **3.2.6 Metode Menghitung Kerusakan Batu**

Dalam menghitung kerusakan, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan cara membandingkan jumlah BPPT-lock yang berpindah posisi maupun berubah posisi dengan jumlah BPPT-lock yang ada pada daerah *run up* dan *run down*. Oleh karena itu, agar lebih mudah dalam pengamatan, BPPT-lock disusun berdasarkan zona warna yang berbeda. Antara zona warna pada daerah *run up* berbeda dengan zona warna pada daerah *run down*. Agar lebih jelasnya, perbedaan zona warna ini dapat dilihat pada gambar 3.8.



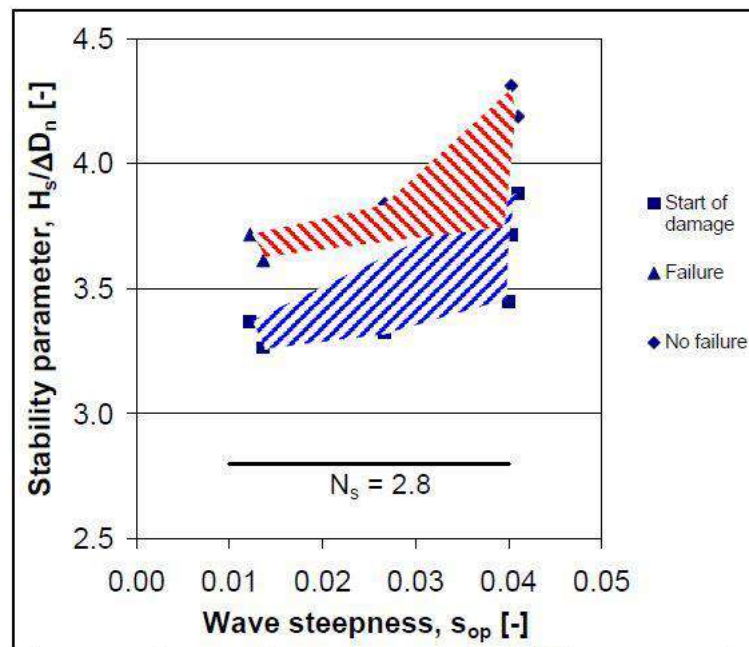
**Gambar 3.8** Penyusunan BPPT-lock sesuai zona warna

Gambar 3.8 merupakan contoh penyusunan BPPT-lock berdasarkan zona warna. Susunan teratas merupakan puncak dari struktur miring yang ditandai dengan zona warna hijau muda. Kemudian untuk daerah *run up* gelombang, ditandai dengan zona warna hijau tua sedangkan daerah *run down* gelombang ditandai dengan zona warna kuning. Untuk lereng di bawah zona kuning di tandai dengan zona warna abu-abu dan struktur kaki ditandai dengan zona warna merah.

Saat proses penyusunan BPPT-lock, dilakukan pencatatan jumlah BPPT-lock pada setiap zona warna untuk mengetahui jumlah BPPT-lock yang terpasang. Kemudian apabila telah selesai dilakukan proses pengujian, maka dihitung jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi. Jumlah tersebut kemudian dibandingkan dengan jumlah BPPT-lock pada daerah *run up* dan *run down* gelombang. Hasil perhitungan tersebut kemudian dikalikan 100 % untuk mendapatkan persentase kerusakan yang terjadi.

### 3.2.7 Analisa dan Pembahasan Hasil Pengujian

Analisa dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara parameter tak berdimensi. Parameter tak berdimensi ini didapatkan dengan cara melakukan analisis dimensi pada variabel-variabel yang berpengaruh pada uji stabilitas unit lapis pelindung BPPT-lock. Parameter tak berdimensi yang akan digunakan seperti *wave steepness*  $\frac{H}{gT^2}$ , yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari tinggi dan periode gelombang. *Wave steepness* akan dihubungkan dengan parameter tak berdimensi lainnya yaitu angka stabilitas  $N_s = \frac{H}{\Delta D_n}$ .  $\Delta$  merupakan *relative density* dan  $D_n$  merupakan diameter nominal dari armor unit.



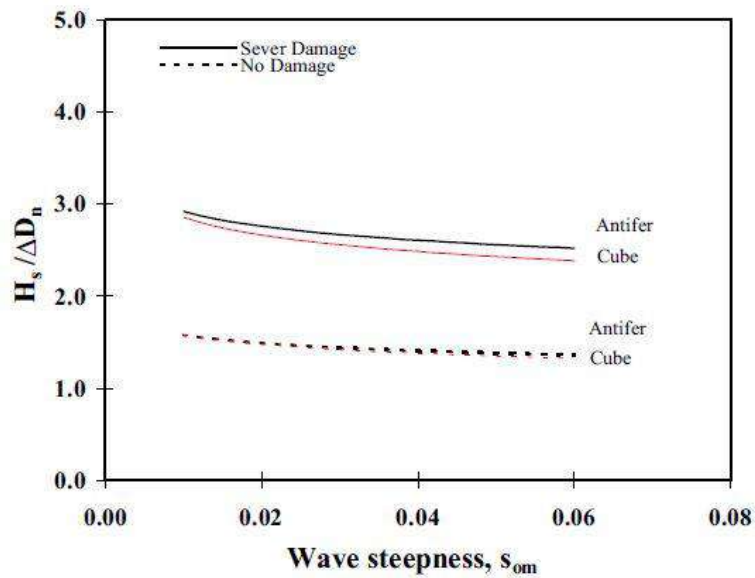
**Gambar 3.9** Contoh grafik hubungan *wave steepness* dan angka stabilitas

(Sumber : Bakker *et al.* 2005)

Gambar 3.9 merupakan contoh grafik hubungan antara *wave steepness* dan angka stabilitas untuk batu X-blok. Pengaruh dari *wave steepness* dapat terlihat dari grafik tersebut. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar *wave steepness* akan menyebabkan angka stabilitas juga semakin besar.

Chegini dan Aghtouman (2006) juga menampilkan hasil pengujian berupa hubungan *wave steepness* dengan angka stabilitas yang bisa di lihat pada gambar

3.10. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan dengan bertambahnya periode gelombang, stabilitas unit lapis pelindung juga bertambah. Hasil yang sama juga disimpulkan oleh Van der Meer.



**Gambar 3.10** Perbandingan stabilitas antifer *cubes* (Chegini and Aughtoman, 2006) dan *cubes* (Van der Meer, 1988)

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian kali ini, dilakukan uji stabilitas unit lapis pelindung pada model *seawall* dengan menggunakan BPPT-lock sebagai batuan lapis pelindungnya. Uji stabilitas dilakukan dengan mengamati perilaku BPPT-lock apabila terkena gaya gelombang dan pengaruh dari sudut kemiringan struktur. Terdapat tiga variabel bebas sebagai perbandingan untuk uji stabilitas ini, yaitu tinggi gelombang ( $H_s$ ), periode gelombang ( $T_p$ ), dan sudut kemiringan struktur ( $\tan \alpha$ ). Tiga variabel di atas merupakan faktor penting yang mempengaruhi stabilitas unit lapis pelindung *seawall* sehingga dilakukan 15 variasi pengujian. Sudut kemiringan struktur yang digunakan dalam pengujian adalah 1 : 1,15 ; 1 : 1,5 ; dan 1 : 2. Dalam setiap variasi sudut kemiringan struktur, dibangkitkan masing-masing lima variasi kecuraman gelombang (*wave steepness*) untuk mengetahui pengaruh dari perbedaan tinggi dan periode gelombang.

Dari pengujian yang dilakukan di Laboratorium Energi Laut Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS, diperoleh data persentase kerusakan yang terjadi pada unit lapis pelindung *seawall*. Selain itu, juga diperoleh data tinggi gelombang dan periode gelombang yang didapatkan dari rekaman perubahan elevasi muka air oleh *wave probe*. Selama pengujian, dilakukan pengamatan secara visual dengan cara merekam kejadian bergerak serta jatuhnya batu BPPT-lock saat terkena gelombang. Selain itu juga dilakukan pengambilan gambar pada saat sebelum dan sesudah pengujian untuk mengetahui respon model terhadap gaya gelombang yang bekerja.

#### **4.1 Analisa Data**

Dari percobaan yang telah dilakukan maka perlu dilakukan analisa data untuk mengetahui apakah data yang diperoleh dapat digunakan sehingga memenuhi kriteria untuk dilakukan perhitungan lebih lanjut.

##### **4.1.1 Data Gelombang**

Data tinggi dan periode gelombang saat pengujian didapat dari data pembacaan elevasi muka air yang dihasilkan oleh *wave probe*. Nilai pembacaan *wave probe*

ditampilkan dalam format *time history* (TMH). Agar dapat dilakukan analisis pada data TMH, digunakan makro excel Refana untuk merubah format TMH tersebut ke dalam bentuk excel sehingga diperoleh nilai tegangan fluktuatif yang sudah berformat excel. Dari hasil olahan makro excel Refana tersebut, kemudian dilakukan analisis menggunakan perangkat lunak WareLab (AnaWare) untuk mendapatkan nilai tinggi dan periode gelombang.

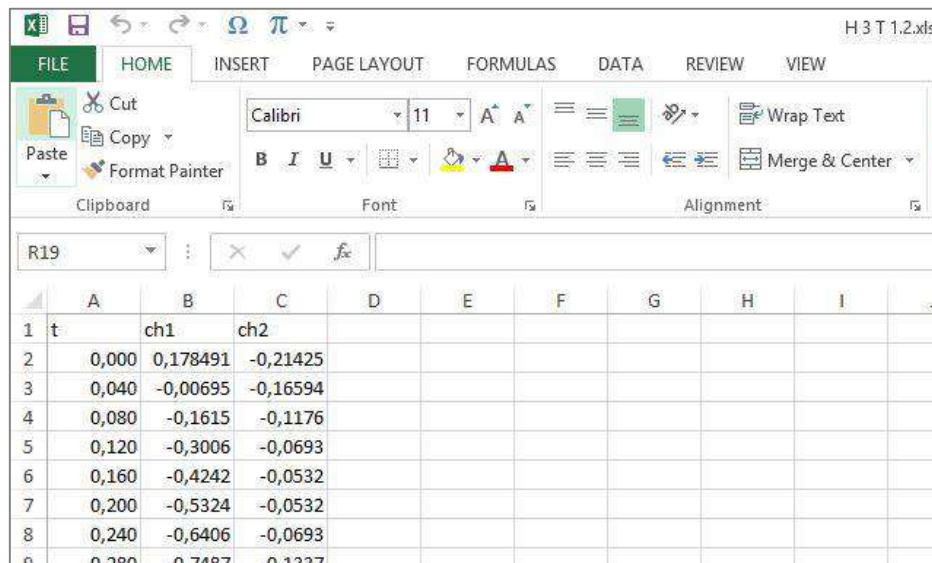
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
10						setting value	W. period	Samp. Frq.	2PAI	W. period 1	W. period 2		
11								1.00,0	0.263165				
12						calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.
13						Calc result	Eta1 cos	Eta1 sin	Eta2 cos	Eta2 sin	cos2	sin2	sin cos
14													
15						calc.	calc.	calc.	calc.				
16						Ana result	A1	B1	A2	B2			
17													
18						Calc. Point	start (inp.)	end (inp.)	Data No.			DEPTH	
19									30000				
20						Time History	No	Eta 1	Eta 2				
21						Time His. Clear	0,000	-0,00114684	0,85874604				
22							0,010	-0,00114684	0,78533338				
23						Time History	0,020	-0,6321	0,6275				
24							0,030	-0,6321	0,7953				
25						Zero UP cross	0,040	-0,6321	0,8275				
26							0,050	-0,6321	0,7953				
27						FRQ ANA	0,060	-0,6321	0,8597				
28							0,070	-0,6321	0,8275				
29							0,080	-0,6321	0,8275				

**Gambar 4.1** Tampilan makro excel Refana untuk pembacaan data TMH

Dalam pengujian stabilitas ini, digunakan dua *wave probe*. *Wave probe* 1 diletakkan dengan jarak sekitar tiga meter di depan model uji sedangkan *wave probe* 2 diletakkan tepat di depan model uji. Akan tetapi, data yang digunakan dalam analisis stabilitas ini adalah data yang diperoleh dari hasil rekaman *wave probe* 1 saja karena *wave probe* 1 digunakan untuk merekam gelombang datang. Sedangkan *wave probe* 2 digunakan untuk merekam gelombang refleksi. Nilai Eta 1 yang ditampilkan pada gambar 4.1 merupakan hasil pembacaan fluktuasi muka air yang terekam pada *wave probe* 1. Nilai Eta 2 merupakan hasil pembacaan nilai fluktuasi muka air yang terekam pada *wave probe* 2.

Hasil rekaman nilai kalibrasi *wave probe* dan nilai rekaman gelombang dengan format *time history* (TMH) diambil dengan menggunakan makro excel Refana dan kemudian dianalisa dengan menggunakan perangkat lunak WareLab (AnaWare). Hasil olahan Refana yang berupa pembacaan fluktuasi muka air baik untuk nilai kalibrasi *wave probe* dan rekaman gelombang disimpan dalam satu file excel tersendiri (gambar 4.2) yang kemudian dikelompokkan dalam satu folder yang

sama (gambar 4.3). Perangkat lunak WareLab juga dimasukkan ke dalam folder tersebut agar dapat dilakukan analisa.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	t	ch1	ch2							
2	0,000	0,178491	-0,21425							
3	0,040	-0,00695	-0,16594							
4	0,080	-0,1615	-0,1176							
5	0,120	-0,3006	-0,0693							
6	0,160	-0,4242	-0,0532							
7	0,200	-0,5324	-0,0532							
8	0,240	-0,6406	-0,0693							
9	0,280	-0,7487	-0,1227							

**Gambar 4.2** Contoh hasil olahan Refana dalam format excel

Name	Date modified	Type	Size
0.xls	11/04/2017 22:10	Microsoft Excel 97...	60 KB
AnaWaRe.exe	27/09/2016 0:50	Application	118 KB
D2.xls	11/04/2017 22:11	Microsoft Excel 97...	60 KB
D3.xls	11/04/2017 22:12	Microsoft Excel 97...	60 KB
D4.xls	11/04/2017 22:50	Microsoft Excel 97...	76 KB
H 3 T 1.2.xls	11/04/2017 16:04	Microsoft Excel 97...	4.925 KB
H 3 T 1.4.xls	11/04/2017 16:09	Microsoft Excel 97...	4.926 KB
H 5 T 1.2.xls	11/04/2017 16:13	Microsoft Excel 97...	4.927 KB
H 6 T 1.2.xls	11/04/2017 16:16	Microsoft Excel 97...	4.925 KB
H 7 T 1.2.xls	11/04/2017 16:21	Microsoft Excel 97...	4.926 KB
U2.xls	11/04/2017 22:19	Microsoft Excel 97...	60 KB
U3.xls	11/04/2017 22:19	Microsoft Excel 97...	59 KB
U4.xls	11/04/2017 22:55	Microsoft Excel 97...	76 KB

**Gambar 4.3** Hasil olahan Refana dikelompokkan ke dalam satu folder

Pada gambar 4.3 dapat dilihat nilai kalibrasi *wave probe* untuk setiap elevasi pergerakan kalibrasi diletakan dalam file excel yang berbeda. Terdapat tujuh perbedaan elevasi untuk kalibrasi *wave probe*. File 0 merupakan posisi 0 cm, kemudian posisi +5 cm (file D2), posisi +10 cm (file D3), posisi +15 cm (file D4), posisi -5 cm (file U2), posisi -10 cm (file U3), dan posisi -15 (file U4). Penamaan file kalibrasi *wave probe* harus sesuai dengan ketentuan tersebut. Nilai pembacaan

gelombang untuk setiap variasi tinggi dan periode gelombang juga diletakkan dalam file excel yang berbeda. Gambar 4.3 merupakan folder untuk variasi pengujian dengan sudut kemiringan 1 : 2.

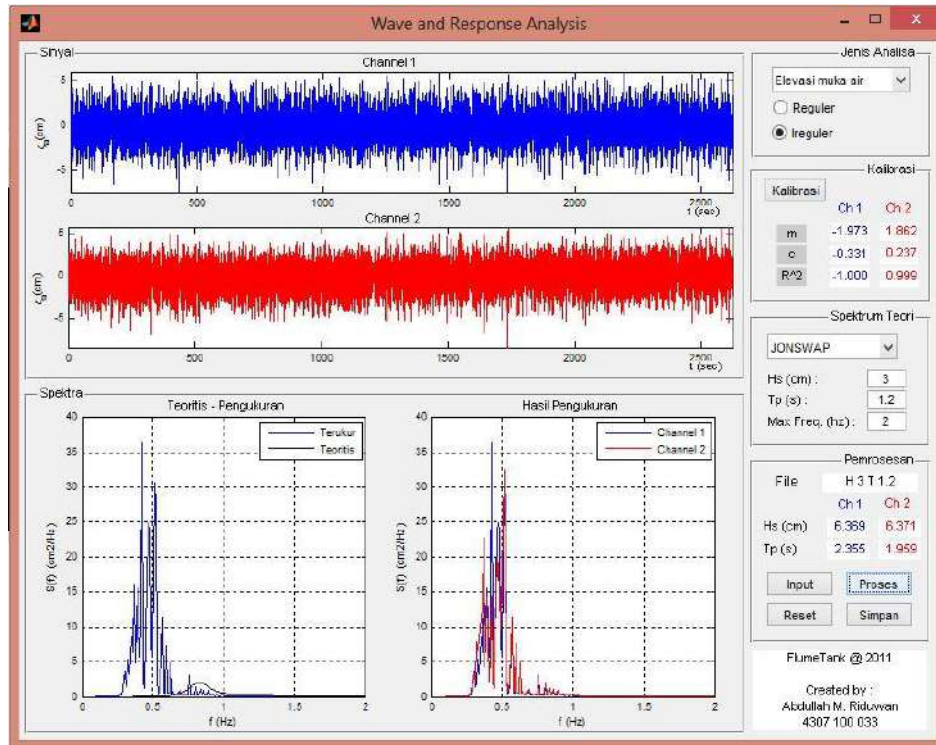
Analisis dengan menggunakan perangkat lunak WareLab sudah dapat dilakukan. Langkah pertama adalah menentukan jenis gelombang yang digunakan dalam pengujian. Untuk uji stabilitas ini, menggunakan gelombang irreguler dengan spektrum Jonswap. Setelah itu melakukan proses kalibrasi berdasarkan file kalibrasi yang sudah ada di dalam folder tersebut. Kemudian memasukkan H dan T rencana yang merupakan H dan T *input* pada mesin pembangkit gelombang. Terdapat tab *input* yang digunakan untuk memasukkan file pembacaan gelombang yang kemudian di proses satu persatu. Dari hasil proses tersebut diperoleh data tinggi dan periode gelombang hasil pembacaan *wave probe*. Berikut hasil olahan dengan menggunakan perangkat lunak WareLab.

**Tabel 4.1** Hasil olahan WareLab

Percobaan ke	Jenis Gelombang	Kemiringan	H.in	Hs	T.in	Tp
			cm		detik	
1	Ireguler	1:1,15	3	6.0939	1.4	1.6448
2			3	6.1780	1.2	1.6024
3			5	10.7849	1.2	1.5292
4			6	13.1666	1.2	1.5921
5			7	14.0945	1.2	1.5856
6		1:1,5	3	6.5991	1.4	1.7180
7			3	7.5376	1.2	1.6767
8			5	11.9745	1.2	1.6069
9			6	13.8180	1.2	1.6559
10			7	14.5623	1.2	1.6285
11		1:2	3	6,4632	1.4	1.7168
12			3	7,2174	1.2	1.6277
13			5	11,5744	1.2	1.6108
14			6	13,3424	1.2	1.6503
15			7	14,1976	1.2	1.6129



Berdasarkan hasil olahan WareLab, tinggi dan periode gelombang *input* ( $H_{in}$  dan  $T_{in}$ ) tidak sama dengan tinggi dan periode gelombang *output* ( $H_s$  dan  $T_p$ ). Nilai *output* untuk setiap variasi, hasilnya lebih besar daripada nilai *input*. Hal ini dapat disebabkan akibat kinerja sistem atau pembangkit gelombang yang kurang optimal.

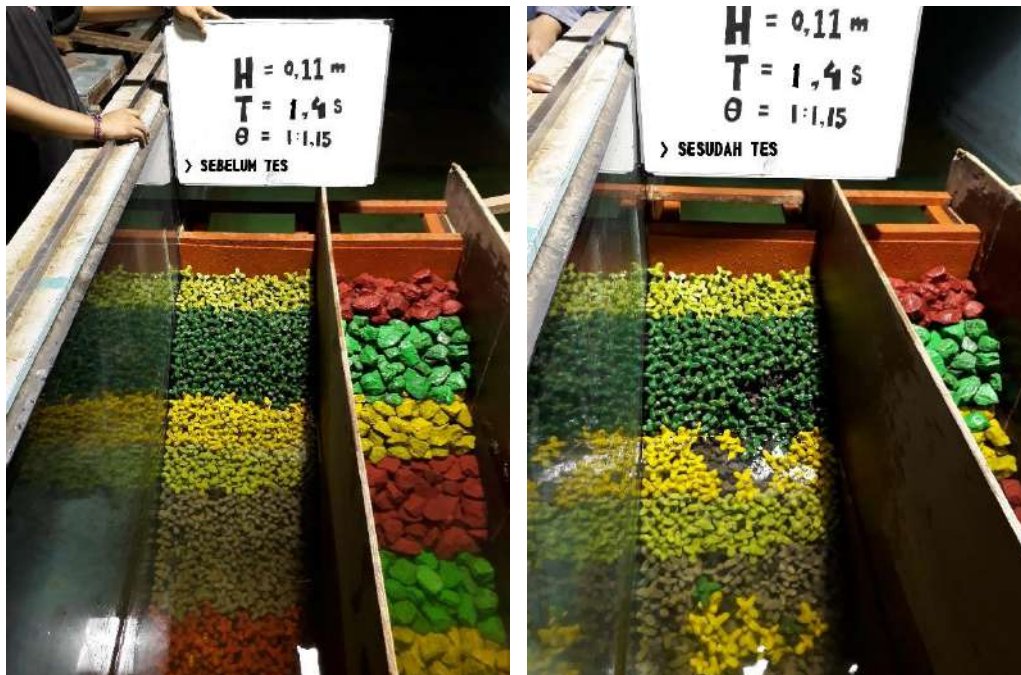


**Gambar 4.4** Tampilan WareLab (AnaWare)

#### 4.1.2 Data Hasil Pengujian

Selain data gelombang, pengujian ini juga menghasilkan data pengamatan visual. Berdasarkan percobaan yang dilakukan, perubahan yang signifikan ditunjukkan pada saat percobaan ke 4 dengan tinggi gelombang 13,17 cm dan periode gelombang 1,59 detik serta percobaan ke 5 dengan tinggi gelombang 14,09 cm dan periode gelombang 1,58 detik. Keduanya merupakan percobaan dengan variasi sudut kemiringan 1 : 1,15. Percobaan ke 4 dapat dilihat pada gambar 4.5 dan untuk percobaan ke 5 dapat dilihat pada gambar 4.6. Dari gambar 4.5 terlihat banyak BPPT-lock dari zona kuning jatuh ke zona BPPT-lock berwarna abu-abu. Hanya beberapa BPPT-lock dari zona hijau tua jatuh ke zona abu-abu. Banyak BPPT-lock dari zona hijau tua runtuh di zona hijau tua itu sendiri. Hal yang sama juga terlihat pada gambar 4.6. Beberapa BPPT-lock dari zona hijau tua dan zona kuning jatuh

ke zona abu-abu dan banyak BPPT-lock dari hijau tua runtuh di daerah zona hijau tua itu sendiri. Zona kuning merupakan daerah *rundown* dan zona hijau tua merupakan daerah *runup*. Untuk data lengkap mengenai jumlah BPPT-lock yang jatuh maupun berubah posisi, dapat dilihat pada sub bab selanjutnya.

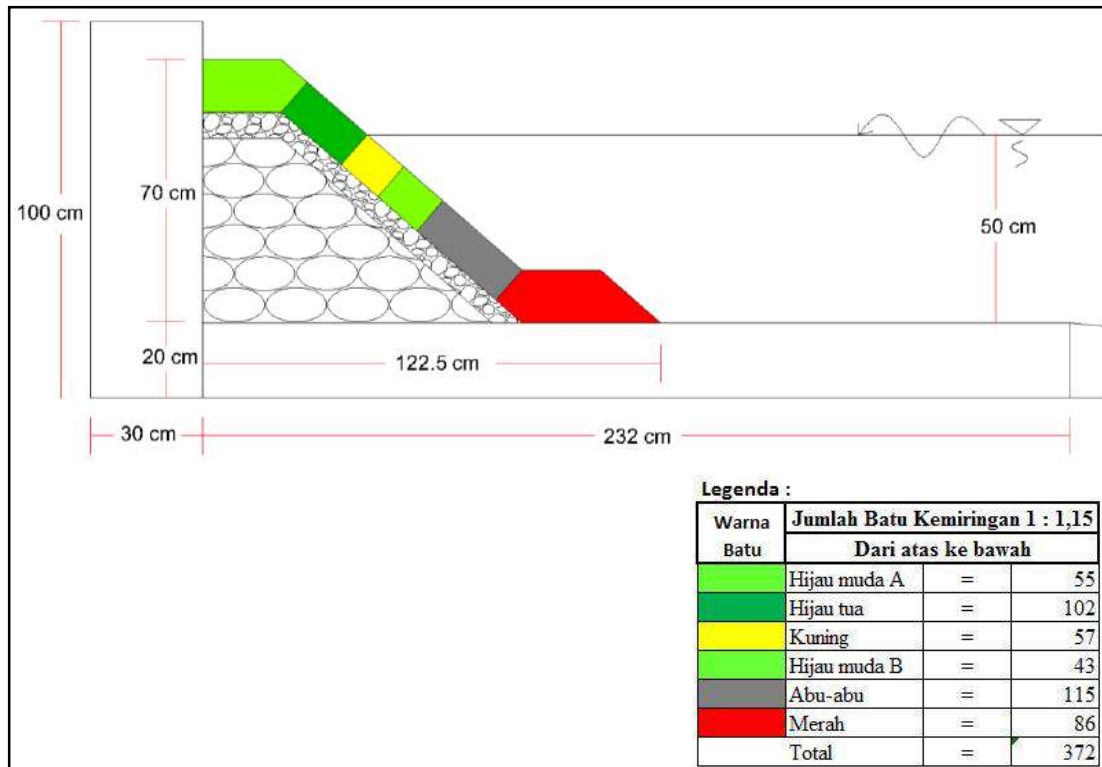


**Gambar 4.5** Foto untuk percobaan ke 4, sebelum (kiri) dan sesudah (kanan)



**Gambar 4.6** Foto percobaan ke 5, sebelum (kiri) dan sesudah (kanan)

#### 4.1.2.1 Hasil Pengujian Variasi Sudut Kemiringan 1 : 1,15



**Gambar 4.7** Sketsa peletakan BPPT-lock sesuai zona warna dengan sudut kemiringan 1 : 1,15

BPPT-lock yang dibutuhkan dalam pengujian dengan variasi sudut kemiringan 1 : 1,15 adalah sebanyak 372 buah. BPPT-lock disusun di atas lapisan tumpukan kantong pasir dan batu kerikil hingga membentuk sudut kemiringan 1 : 1,15. Agar lebih mudah dalam pengamatan, BPPT-lock disusun berdasarkan warna yang sama. Daerah yang rawan mengalami ketidakstabilan adalah daerah *runup* dan *rundown*. Oleh karena itu pada daerah ini ditandai dengan zona warna yang berbeda. Untuk daerah *runup*, ditandai dengan BPPT-lock berwarna hijau tua. Sedangkan daerah *rundown*, ditandai dengan BPPT-lock berwarna kuning. Jumlah BPPT-lock dari masing-masing zona dapat dilihat pada gambar 4.7.

Hasil dari pengujian pada saat sudut kemiringan struktur 1 : 1,15 untuk setiap variasi adalah sebagai berikut :

- Percobaan ke-1 ( $H_s = 6,09$  cm ;  $T_p = 1,64$  detik) dan percobaan ke-2 ( $H_s = 6,18$  cm ;  $T_p = 1,60$  detik) tidak terjadi perpindahan maupun perubahan posisi BPPT-lock selama pengujian berlangsung.
- Percobaan ke-3 ( $H_s = 10,78$  cm ;  $T_p = 1,53$  detik)

**Tabel 4.2** Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-3

Warna Batu	Jumlah Batu Berpindah ke Zona Batu						Berubah posisi
	Hijau muda A	Hijau tua	Kuning	Hijau muda B	Abu-abu	Merah	
Hijau muda A	-	-	-	-	-	-	-
Hijau tua	-	-	-	-	-	-	-
Kuning	-	-	2	1	1	-	1
Hijau muda B	-	-	-	-	-	-	-
Abu-abu	-	-	-	-	-	-	-
Merah	-	-	-	-	-	-	-

Setelah percobaan 1 dan 2 tidak menunjukkan perubahan pada struktur unit lapis lindung BPPT-lock, percobaan ke-3 mulai terdapat beberapa BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi. Dari tabel 4.2 terdapat 4 BPPT-lock dari zona kuning yang berpindah posisi dari zonanya. 2 diantaranya berpindah posisi dari posisi awalnya tetapi masih dalam satu zona yang sama. 1 BPPT-lock berpindah ke zona hijau muda B dan 1 lainnya berpindah ke zona abu-abu. Selain itu terdapat 1 BPPT-lock yang berubah posisi tanpa terjadi perpindahan posisi dari kedudukan semula. Total BPPT-lock yang mengalami ketidakstabilan adalah 5 buah.

- Percobaan ke-4 ( $H_s = 13,17$  cm ;  $T_p = 1,59$ )  
Percobaan ke-4 terjadi perubahan yang signifikan pada struktur unit lapis pelindung BPPT-lock seperti yang terlihat pada gambar 4.5. Dari tabel 4.3, terdapat 21 BPPT-lock dari zona hijau tua yang mengalami perpindahan. 13 diantaranya berpindah posisi dari posisi awal tetapi masih dalam satu zona

yang sama dan sisanya berpindah ke zona kuning dan abu-abu. 20 BPPT-lock pada zona kuning, 3 diantaranya berpindah posisi tetapi masih dalam satu zona dan 17 lainnya berpindah ke zona abu-abu. Dalam percobaan 4 juga terdapat 1 BPPT-lock zona kuning yang berubah posisi. Total BPPT-lock yang mengalami ketidakstabilan adalah 42 buah.

**Tabel 4.3** Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-4

Warna Batu	Jumlah Batu Berpindah ke Zona Batu						Berubah posisi
	Hijau muda A	Hijau tua	Kuning	Hijau muda B	Abu-abu	Merah	
Hijau muda A	-	-	-	-	-	-	-
Hijau tua	-	13	6	-	2	-	-
Kuning	-	-	3	-	17	-	1
Hijau muda B	-	-	-	-	-	-	-
Abu-abu	-	-	-	-	-	-	-
Merah	-	-	-	-	-	-	-

- Percobaan ke-5 ( $H_s = 14,09$  cm ;  $T_p = 1,59$  detik)

**Tabel 4.3** Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-5

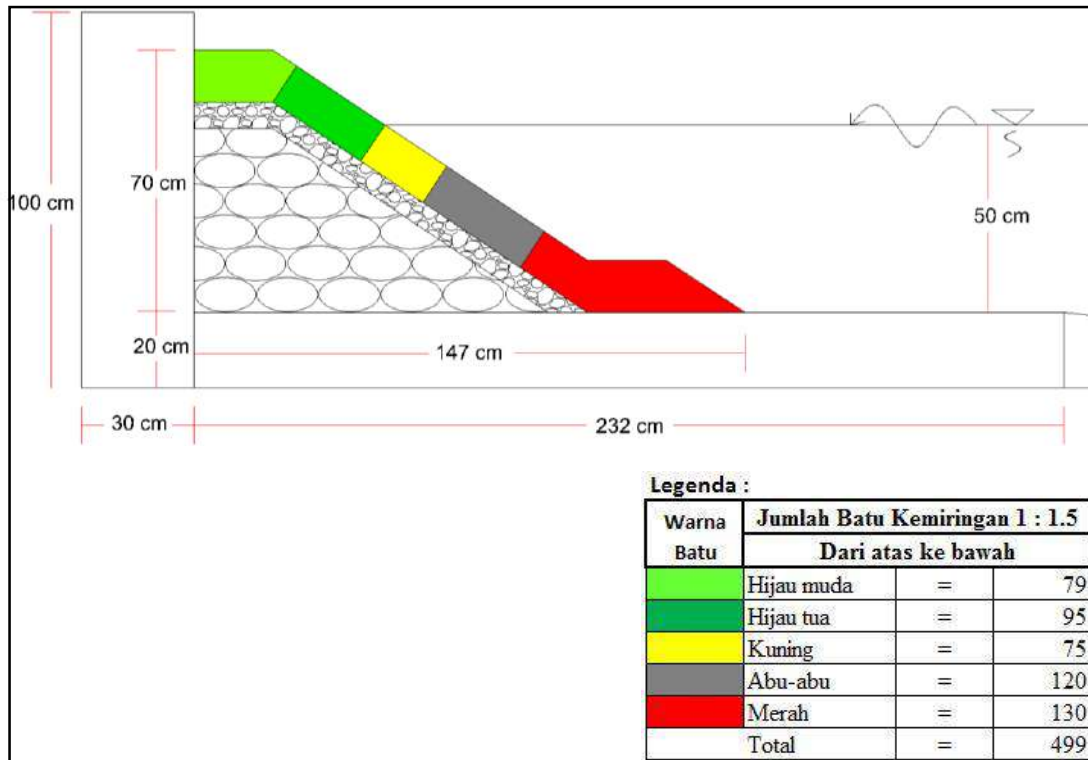
Warna Batu	Jumlah Batu Berpindah ke Zona Batu						Berubah posisi
	Hijau muda A	Hijau tua	Kuning	Hijau muda B	Abu-abu	Merah	
Hijau muda A	-	-	-	-	-	-	-
Hijau tua	-	-	34	-	4	-	-
Kuning	-	-	5	-	3	-	3
Hijau muda B	-	-	-	-	1	-	-
Abu-abu	-	-	-	-	-	-	-
Merah	-	-	-	-	-	-	-

Hasil dari percobaan ke-5 hampir sama dengan percobaan ke-4. Jumlah BPPT-lock yang mengalami perpindahan sebanyak 47 buah dan yang berubah posisi sebanyak 3 buah. 34 BPPT-lock dari zona hijau tua berpindah dari posisi awalnya tetapi masih dalam satu zona yang sama dan 4 BPPT-lock dari zona tersebut juga berpindah ke zona abu-abu. Dari zona kuning terdapat 5 BPPT-lock yang berpindah di dalam satu zona yang sama



dan 3 BPPT-lock yang berpindah ke zona abu-abu serta terdapat 1 BPPT-lock yang berpindah ke zona hijau muda B. Selain itu terdapat 3 BPPT-lock zona kuning yang mengalami perubahan posisi.

#### 4.1.2.2 Hasil Pengujian Variasi Sudut Kemiringan 1 : 1,5



**Gambar 4.8** Sketsa peletakan BPPT-lock sesuai zona warna dengan sudut kemiringan 1 : 1,5

Hal yang sama seperti saat pengujian dengan variasi sudut kemiringan struktur 1 : 1,15 juga dilakukan pada saat pengujian dengan sudut kemiringan 1 : 1,5. BPPT-lock disusun di atas lapisan tumpukan kantong pasir dan batu kerikil hingga membentuk sudut kemiringan 1 : 1,5 dan disusun berdasarkan warna yang sama seperti gambar 4.8. Jumlah BPPT-lock pada setiap zona warna dapat dilihat pada gambar 4.8. Total BPPT-lock yang digunakan adalah 499 buah. Daerah *runup* dan *rundown* masing-masing ditandai dengan warna hijau tua dan kuning.

Hasil dari pengujian pada saat sudut kemiringan struktur 1 : 1,5 untuk setiap variasi adalah sebagai berikut :

- Percobaan ke-6 ( $H_s = 6,59$  cm ;  $T_p = 1,72$  detik), percobaan ke-7 ( $H_s = 7,54$  cm ;  $T_p = 1,67$  detik), dan percobaan ke-8 ( $H_s = 11,97$  cm ;  $T_p = 1,60$  detik), tidak terjadi perpindahan maupun perubahan posisi BPPT-lock selama pengujian berlangsung.
- Percobaan ke-9 ( $H_s = 13,81$  cm ;  $T_p = 1,65$  detik)

**Tabel 4.4** Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-9

Warna Batu	Jumlah Batu Berpindah ke Zona Batu					Berubah posisi
	Hijau muda	Hijau tua	Kuning	Abu-abu	Merah	
Hijau muda	-	-	-	-	-	-
Hijau tua	-	-	-	-	-	3
Kuning	-	-	-	-	-	-
Abu-abu	-	-	-	-	-	-
Merah	-	-	-	-	-	-

Pengujian dengan sudut kemiringan 1 : 1,5 tidak terjadi perubahan pada struktur unit lapisindung saat percobaan ke 6,7, dan 8. Hal ini berarti model uji stabil saat terkena gelombang yang dibangkitkan di masing-masing percobaan tersebut. Pada saat percobaan ke-9 dengan tinggi gelombang 13,81 cm, terjadi sedikit perubahan posisi pada 3 buah BPPT-lock zona hijau tua. Selama pengujian berlangsung, 3 BPPT-lock tersebut terlihat bergoyang-goyang saat terkena gelombang. Akan tetapi tidak sampai terjadi perpindahan posisi.

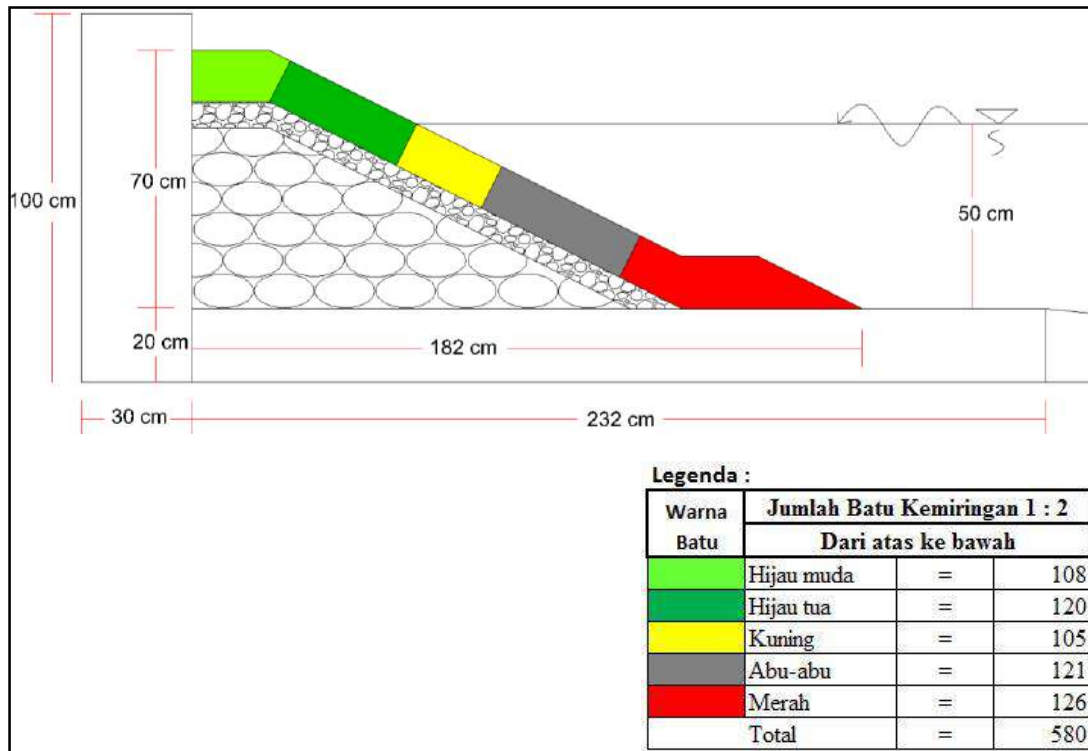
- Percobaan ke-10 ( $H_s = 14,56$  cm ;  $T_p = 1,62$  detik)

**Tabel 4.5** Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-10

Warna Batu	Jumlah Batu Berpindah ke Zona Batu					Berubah posisi
	Hijau muda	Hijau tua	Kuning	Abu-abu	Merah	
Hijau muda	-	-	-	-	-	-
Hijau tua	-	-	-	-	-	2
Kuning	-	-	-	-	-	2
Abu-abu	-	-	-	-	-	-
Merah	-	-	-	-	-	-

Tidak jauh berbeda dari percobaan ke-9, gelombang yang dibangkitkan pada saat percobaan ke-10 juga sedikit memberikan pengaruh pada stabilitas BPPT-lock. Dari tabel 4.5 terlihat hanya 2 BPPT-lock dari zona hijau tua dan 2 BPPT-lock dari zona kuning mengalami perubahan posisi. BPPT-lock tersebut juga bergoyang-goyang selama pengujian berlangsung.

#### 4.1.2.3 Hasil Pengujian Variasi Sudut Kemiringan 1 : 2



**Gambar 4.9** Sketsa peletakan BPPT-lock sesuai zona warna dengan sudut kemiringan 1 : 2

Hal yang sama seperti saat pengujian dengan variasi sudut kemiringan struktur 1 : 1,15 dan 1 : 1,5 juga dilakukan pada saat pengujian dengan sudut kemiringan 1 : 2. BPPT-lock disusun di atas lapisan tumpukan kantong pasir dan batu kerikil hingga membentuk sudut kemiringan 1 : 2 dan disusun berdasarkan warna yang sama seperti gambar 4.9. Jumlah BPPT-lock pada setiap zona warna dapat dilihat pada gambar 4.9. Total BPPT-lock yang digunakan adalah 580 buah. Daerah *runup* dan *rundown* masing-masing ditandai dengan warna hijau tua dan kuning.



Hasil dari pengujian pada saat sudut kemiringan struktur 1 : 2 untuk setiap variasi adalah sebagai berikut :

- Percobaan ke-11 ( $H_s = 6,46$  cm ;  $T_p = 1,72$  detik), percobaan ke-12 ( $H_s = 7,21$  cm ;  $T_p = 1,62$  detik), dan percobaan ke-13 ( $H_s = 11,57$  cm ;  $T_p = 1,61$  detik), tidak terjadi perpindahan maupun perubahan posisi BPPT-lock selama pengujian berlangsung.
- Percobaan ke-14 ( $H_s = 13,34$  cm ;  $T_p = 1,65$  detik)

**Tabel 4.6** Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-14

Warna Batu	Jumlah Batu Berpindah ke Zona Batu					Berubah posisi
	Hijau muda	Hijau tua	Kuning	Abu-abu	Merah	
Hijau muda	-	-	-	-	-	-
Hijau tua	-	2	-	-	-	1
Kuning	-	-	-	-	-	-
Abu-abu	-	-	-	-	-	-
Merah	-	-	-	-	-	-

Pengujian dengan sudut kemiringan 1 : 2 tidak terjadi perubahan pada struktur unit lapisindung saat percobaan ke 11, 12, dan 13. Hal ini berarti model uji stabil saat terkena gelombang yang dibangkitkan di masing-masing percobaan tersebut. Pada saat percobaan ke-14 dengan tinggi gelombang 13,34 cm, terjadi perpindahan posisi di dalam zona hijau tua. 2 BPPT-lock zona hijau tua berpindah dari posisi semula tetapi masih dalam zona yang sama. Dan 1 BPPT-lock di zona hijau tua mengalami perubahan posisi akibat hempasan gelombang.

- Percobaan ke-15 ( $H_s = 14,19$  cm ;  $T_p = 1,61$  detik)  
Gelombang yang dibangkitkan pada saat percobaan ke-15 sedikit memberikan pengaruh pada stabilitas BPPT-lock. Dari tabel 4.5 terlihat 3 BPPT-lock dari zona hijau tua mengalami perpindahan posisi. Akan tetapi, 3 BPPT-lock tersebut berpindah masih di dalam zona hijau tua.

**Tabel 4.7** Jumlah BPPT-lock yang berpindah dan berubah posisi pada percobaan ke-15

Warna Batu	Jumlah Batu Berpindah ke Zona Batu					Berubah posisi
	Hijau muda	Hijau tua	Kuning	Abu-abu	Merah	
Hijau muda	-	-	-	-	-	-
Hijau tua	-	3	-	-	-	-
Kuning	-	-	-	-	-	-
Abu-abu	-	-	-	-	-	-
Merah	-	-	-	-	-	-

Berikut adalah hasil dari seluruh pengujian yang telah dilakukan:

**Tabel 4.8** Hasil keseluruhan pengujian

Percobaan ke	Jenis Gelombang	Kemiringan	Hs (cm)	Tp (detik)	Keterangan
1	Ireguler	1:1,15	6.0939	1.6448	Stabil
2			6.1780	1.6024	Stabil
3			10.7849	1.5292	Tidak stabil
4			13.1666	1.5921	Tidak stabil
5			14.0945	1.5856	Tidak stabil
6		1:1,5	6.5991	1.7180	Stabil
7			7.5376	1.6767	Stabil
8			11.9745	1.6069	Stabil
9			13.8180	1.6559	Tidak stabil
10			14.5623	1.6285	Tidak stabil
11		1:2	6,4632	1.7168	Stabil
12			7,2174	1.6277	Stabil
13			11,5744	1.6108	Stabil
14			13,3424	1.6503	Tidak stabil
15			14,1976	1.6129	Tidak stabil

Data di atas merupakan hasil akhir dari setiap variasi pengujian yang masing-masing dilakukan selama 50 menit. BPPT-lock yang berpindah artinya apabila BPPT-lock tersebut berpindah dari posisi awalnya, baik itu berpindah ke zona warna lain maupun berpindah di dalam satu zona yang sama. BPPT-lock yang berubah posisi artinya apabila terjadi perubahan arah hadap dari kondisi awalnya. Apabila terdapat BPPT-lock yang berpindah maupun berubah posisi, model

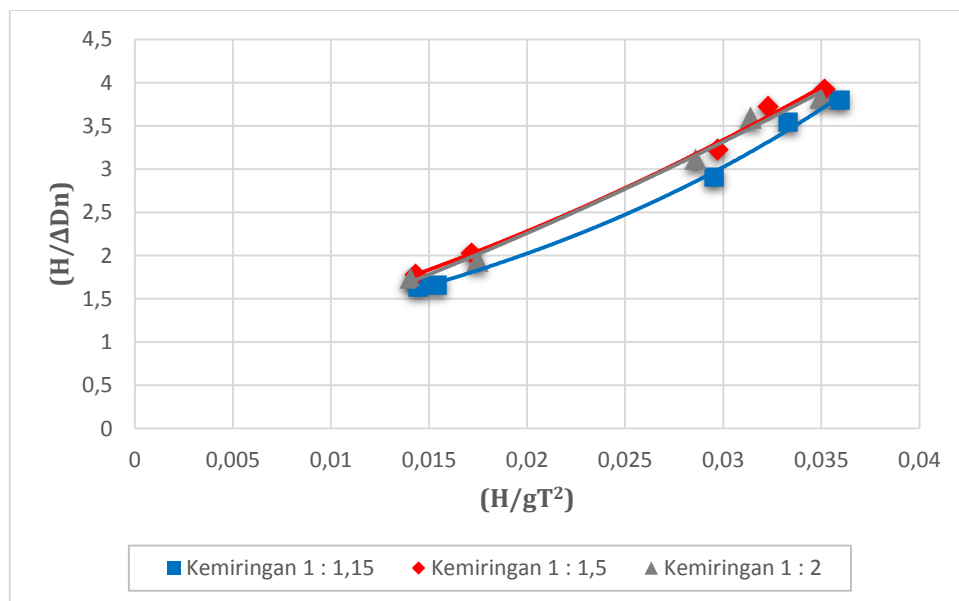
tersebut dianggap tidak stabil. Sedangkan apabila tidak ada BPPT-lock yang mengalami perpindahan maupun perubahan posisi, dianggap stabil. Foto sebelum dan sesudah pengujian dapat dilihat di lampiran.

## 4.2 Pembahasan

Data gelombang dan data hasil pengamatan visual uji stabilitas unit lapis pelindung BPPT-lock selama pengujian digunakan sebagai acuan dalam membuat beberapa grafik hubungan antar parameter tak berdimensi maupun parameter berdimensi. Dengan membuat grafik, akan memudahkan dalam menjawab rumusan masalah yang di angkat serta dapat dibandingkan dengan hasil penelitian orang lain.

### 4.2.1 Pengaruh Kecuraman Gelombang ( $H/gT^2$ ) terhadap Bilangan Stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) dan Koefisien Stabilitas ( $K_D$ )

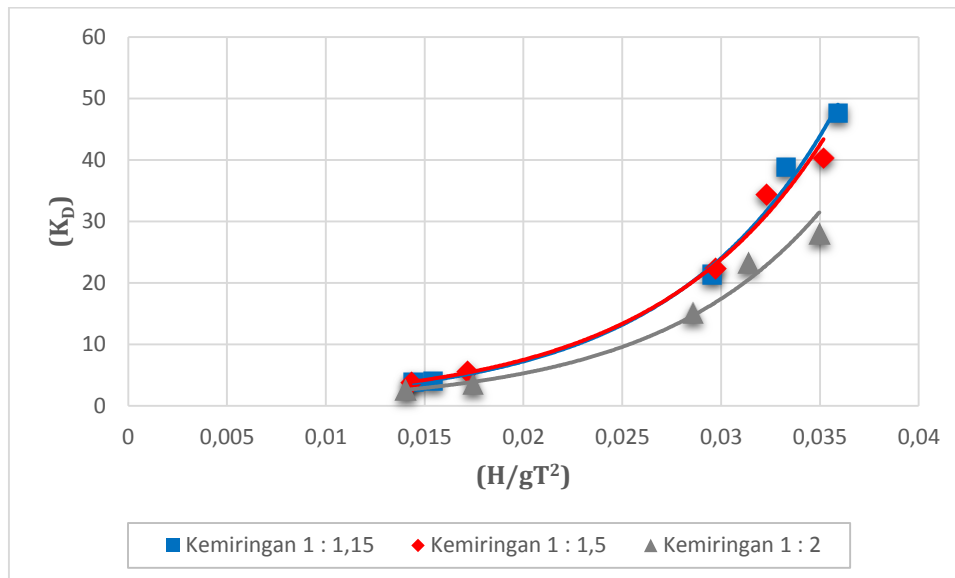
Hubungan antara kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) dengan bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) untuk uji stabilitas unit lapis pelindung BPPT-lock ditunjukkan dalam gambar 4.10.



**Gambar 4.10** Hubungan antara kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) dengan bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ )

Berdasarkan gambar 4.10, nilai bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) semakin besar seiring dengan bertambahnya nilai kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ). Bilangan stabilitas sangat dipengaruhi oleh tinggi gelombang ( $H$ ), berat model ( $W$ ), dan berat jenis

model ( $\gamma_r$ ). Dalam penelitian ini tidak dilakukan pengujian dengan variasi berat model sehingga berat dari model BPPT-lock dibuat semirip mungkin. Parameter yang divariasikan adalah tinggi gelombang dan periode gelombang. Dari gambar 4.10 dapat disimpulkan bahwa besarnya nilai kecuraman gelombang dipengaruhi oleh tinggi gelombang dan periode gelombang. Semakin besar tinggi gelombang akan mengakibatkan nilai kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) semakin besar. Sedangkan nilai kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) berbanding terbalik dengan periode gelombang, dimana semakin besar periode gelombang maka nilai kecuraman gelombang semakin kecil. Nilai kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) pada pengujian ini memiliki rentan 0,001405 - 0,03592 dan menghasilkan bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) dengan rentan nilai 1,64267 - 3,92541.



**Gambar 4.11** Hubungan antara kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) dengan koefisien stabilitas ( $K_D$ )

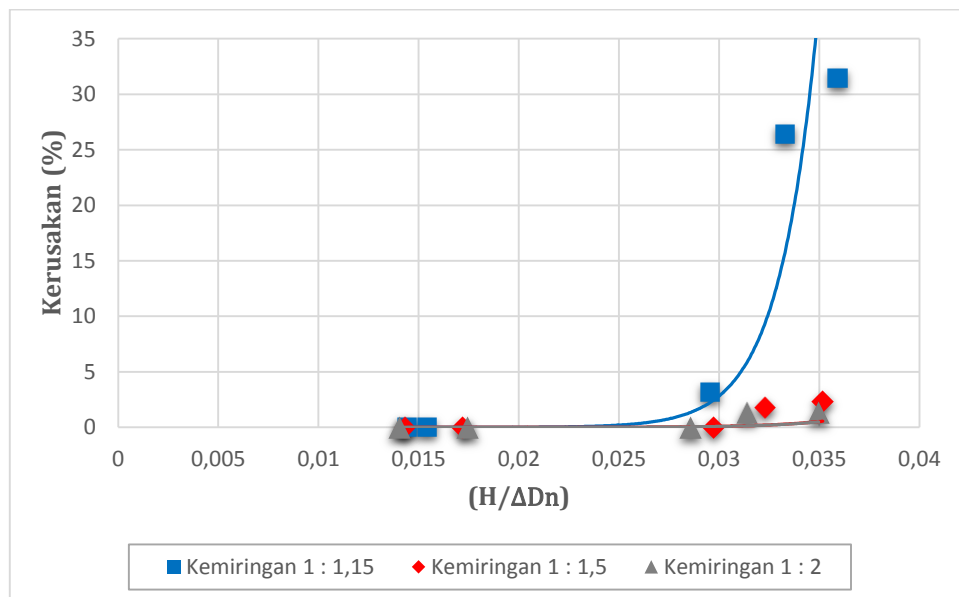
Hubungan serupa juga terjadi antara kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) dengan koefisien stabilitas ( $K_D$ ). Nilai koefisien stabilitas ( $K_D$ ) semakin besar seiring dengan bertambahnya nilai kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ). Hubungan dari keduanya ditampilkan pada gambar 4.11. Pengujian ini menghasilkan nilai koefisien stabilitas ( $K_D$ ) dengan rentan 2,64 – 47,68.

Dari gambar 4.11 dapat dilihat bahwa sudut kemiringan juga sangat berpengaruh terhadap koefisien stabilitas (Hudson, 1959). Hubungan diantara keduanya

berbanding lurus. Semakin besar sudut kemiringan maka semakin besar nilai koefisien stabilitasnya. Apabila nilai koefisien stabilitas besar maka model cenderung lebih tidak stabil dibandingkan dengan koefisien stabilitas kecil. Artinya bahwa dari ketiga kemiringan di atas, yang menunjukkan tingkat kestabilan yang paling baik adalah kemiringan 1 : 2. Sebaliknya, kemiringan 1 : 1,15 menunjukkan tingkat kestabilan paling rendah.

#### 4.2.2 Pengaruh Bilangan Stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) terhadap Persentase Kerusakan

Grafik hubungan antara bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) dengan persentase kerusakan yang terjadi selama pengujian ditunjukkan dalam gambar 4.12.



**Gambar 4.12** Hubungan antara bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) dengan persentase kerusakan

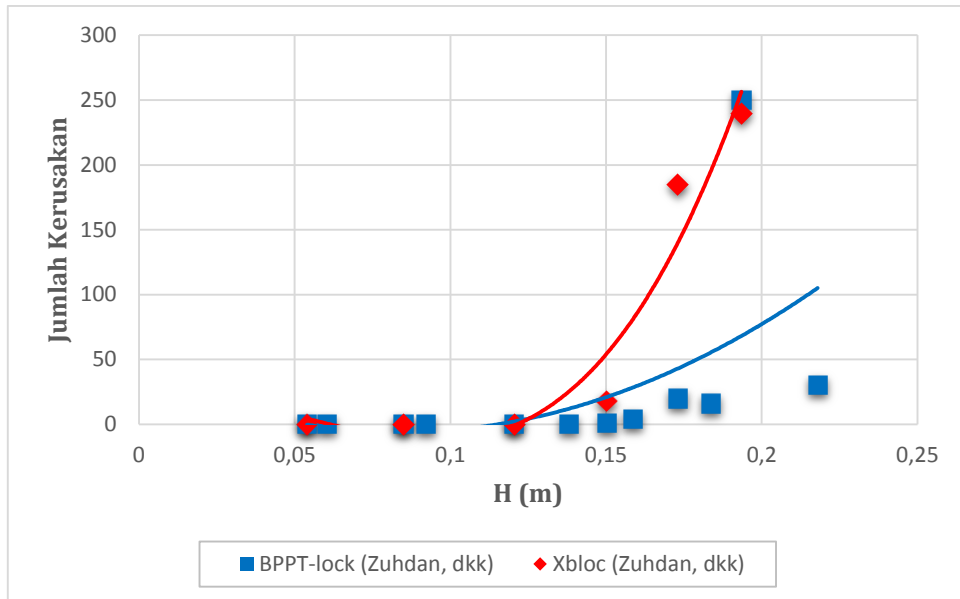
Berdasarkan gambar 4.12, nilai bilangan stabilitas berbanding lurus dengan tingkat kerusakan yang terjadi. Semakin besar nilai bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ), semakin bertambah pula tingkat kerusakannya. Dengan kata lain, apabila nilai bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) besar maka model cenderung tidak stabil atau memiliki tingkat kerusakan yang lebih besar jika dibandingkan dengan model yang memiliki bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) lebih kecil. Seperti yang telah disebutkan pada sub bab sebelumnya, bilangan stabilitas sangat dipengaruhi oleh tinggi gelombang, berat model, dan berat jenis model. Dari ketiga variabel tersebut, hanya parameter tinggi

gelombang saja yang di variasikan. Selain pengaruh dari bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ), sudut kemiringan struktur juga mempengaruhi tingkat kerusakan yang terjadi. Semakin besar sudut kemiringan struktur maka semakin besar pula tingkat kerusakan yang ditimbulkan. Persentase kerusakan yang terjadi dihitung dari perbandingan jumlah BPPT-lock yang jatuh dengan jumlah keseluruhan BPPT-lock dalam suatu zona tertentu yang dalam penelitian ini adalah zona *runup* dan *rundown*. Terdapat 3 variasi sudut kemiringan struktur, yaitu 1 : 1,15 ; 1 : 1,5 ; dan 1 : 2. Tingkat kerusakan yang paling parah ditunjukkan pada saat sudut kemiringan struktur 1 : 1,15 dimana pada saat nilai bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) 2,9071, struktur pelindung mengalami tingkat kerusakan sebesar 3,1447 %. Tingkat kerusakan terbesar yang terjadi pada pengujian adalah sebesar 31,4465 % pada saat nilai bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) 3,7993. Untuk pengujian dengan sudut kemiringan struktur yang lebih landai, yaitu 1 : 1,5 dan 1 : 2, belum menunjukkan tanda-tanda kerusakan pada saat nilai bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) di bawah 2,9071. Kerusakan pada saat sudut kemiringan 1 : 1,5 terjadi saat nilai bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) sebesar 3,5491 dengan tingkat kerusakan sebesar 1,7647 %. Untuk sudut kemiringan 1 : 2 mengalami kerusakan sebesar 1,3333 % pada saat bilangan stabilitas ( $H/\Delta D_n$ ) 3,5965.

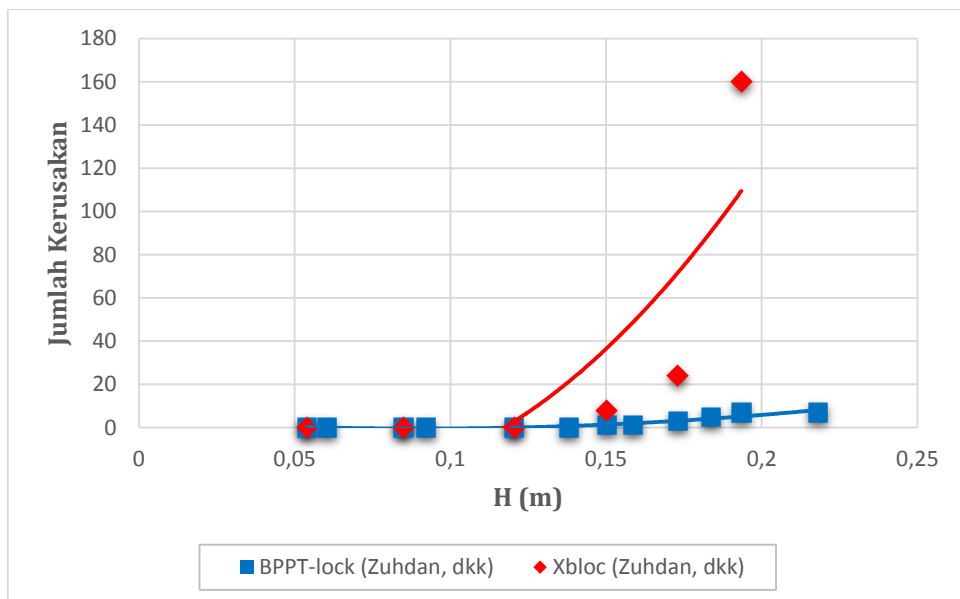
#### **4.2.3 Perbandingan Uji Stabilitas BPPT-lock terhadap Model Unit Lapis Pelindung Lainnya.**

Hasil pengujian yang didapat dalam uji stabilitas unit lapis pelindung BPPT-lock kemudian dibandingkan dengan penelitian lain. Hal ini sangat diperlukan untuk mengetahui perbandingan hasil antara keduanya serta untuk membuktikan tingkat keakuratan hasil pengujian. Dalam penelitian ini, penelitian lain yang digunakan sebagai perbandingan adalah penelitian yang dilakukan oleh Zuhdan, dkk. (2012).

Zuhdan, dkk. (2012) melakukan penelitian dengan membandingkan stabilitas antara xbloc dan BPPT-lock. Pengujian dilakukan dengan membuat variasi sudut kemiringan 1 : 2 dan 1 : 1,5. Untuk jumlah gelombang tidak disebutkan. Hasil pengujian Zuhdan, dkk. (2012) ditampilkan pada gambar 4.13 untuk kemiringan 1 : 1,5 dan gambar 4.14 untuk kemiringan 1 : 2.



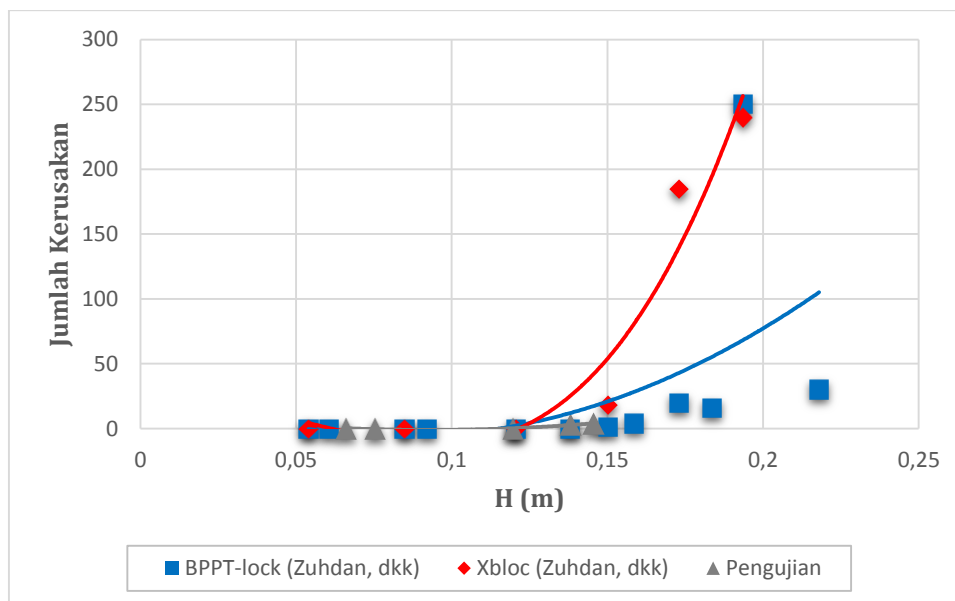
**Gambar 4.13** Hubungan tinggi gelombang dengan jumlah unit yang mengalami kerusakan pada penelitian Zuhdan, dkk (2012) (sudut kemiringan struktur 1 : 1,5)



**Gambar 4.14** Hubungan tinggi gelombang dengan jumlah unit yang mengalami kerusakan pada penelitian Zuhdan, dkk (2012) (sudut kemiringan struktur 1 : 2)

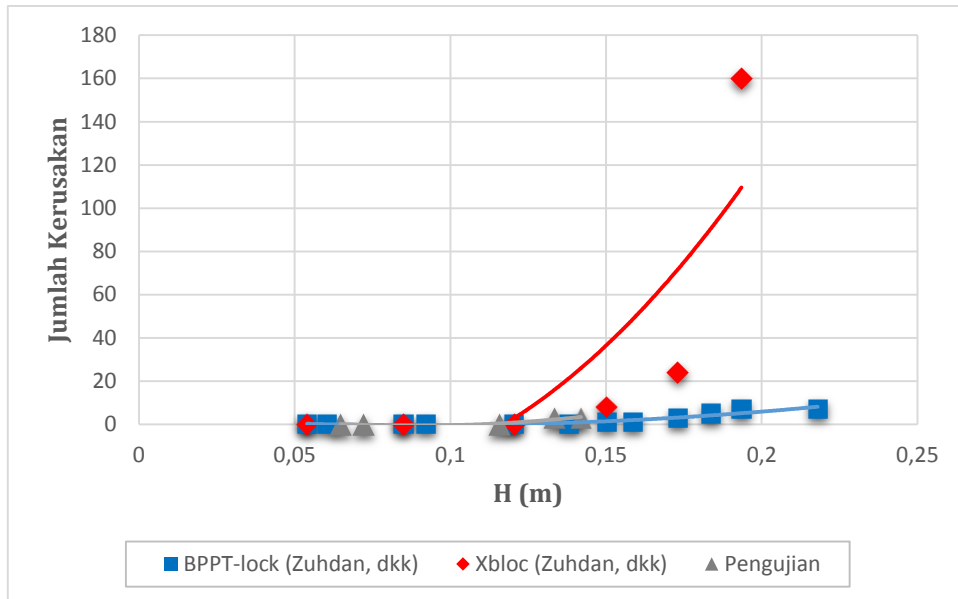
Jumlah kerusakan yang pada penelitian Zuhdan, dkk. (2012) terjadi perbedaan yang signifikan antara kemiringan 1 : 1,5 dan kemiringan 1 : 2. Untuk kemiringan 1 : 1,5 terjadi kerusakan sebanyak 250 BPPT-lock dan 240 xbloc saat tinggi gelombang 19 cm. Untuk kemiringan 1 : 2 terjadi kerusakan sebanyak 7 BPPT-lock dan 160 xbloc saat tinggi gelombang 19 cm. Dari gambar 4.13 dan gambar 4.14, dapat diketahui bahwa semakin tinggi gelombang dan semakin besar sudut kemiringan, menyebabkan kerusakan yang juga semakin besar baik pada BPPT-lock maupun xbloc.

Hasil penelitian tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian dalam penelitian ini. Perbandingan ditampilkan dalam grafik hubungan antara tinggi gelombang dan jumlah unit yang mengalami kerusakan. Grafik dapat dilihat pada gambar 4.15, 4.16, dan 4.17.

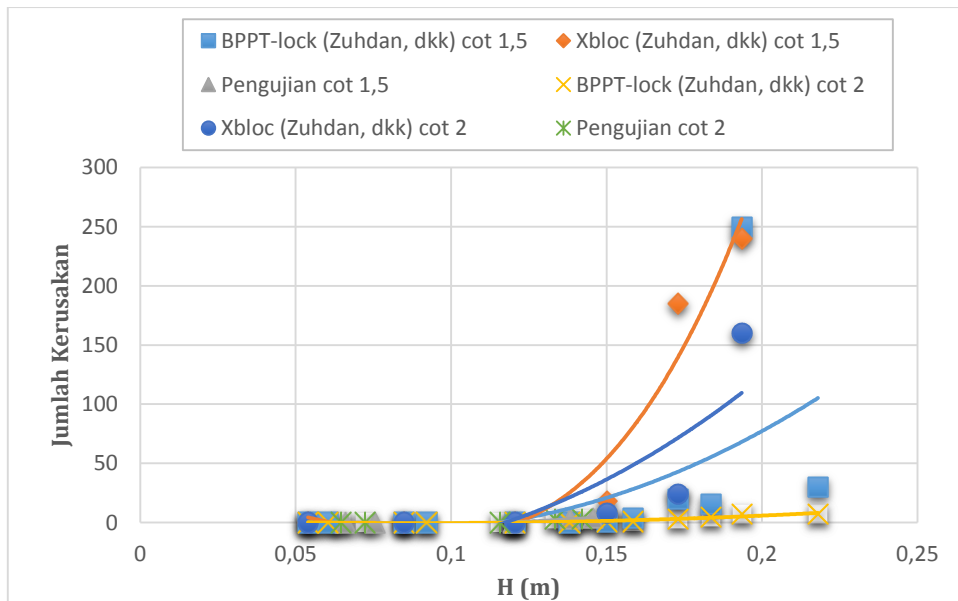


**Gambar 4.15** Hubungan tinggi gelombang dengan jumlah unit yang mengalami kerusakan pada penelitian Zuhdan, dkk (2012) dan hasil pengujian (sudut kemiringan struktur 1 : 1,5)





**Gambar 4.16** Hubungan tinggi gelombang dengan jumlah unit yang mengalami kerusakan pada penelitian Zuhdan, dkk (2012) dan hasil pengujian (sudut kemiringan struktur 1 : 2)



**Gambar 4.17** Hubungan tinggi gelombang dengan jumlah unit yang mengalami kerusakan pada penelitian Zuhdan, dkk (2012) dan hasil pengujian (sudut kemiringan struktur 1 : 1,5 dan 1 : 2)

Pada gambar 4.15 dan gambar 4.16 ditampilkan grafik kerusakan terhadap tinggi gelombang. Hasil dari penelitian ini terdapat di sisi paling bawah dari grafik. Dikarenakan kemampuan peralatan yang ada, pengujian ini tidak dilakukan sampai dengan tinggi gelombang di atas 15 cm. Sehingga tidak dapat menampilkan hasil untuk tinggi gelombang di atas 15. Terlihat bahwa tren kerusakan berbanding lurus dengan tinggi gelombang baik itu penelitian Zuhdan, dkk (2012) dan hasil pengujian ini. Dalam penelitian Zuhdan, dkk (2012) menunjukkan bahwa stabilitas BPPT-lock lebih baik apabila dibandingkan dengan Xbloc. Hal ini terlihat dari tren garis BPPT-lock berada di bawah tren garis Xbloc.

Gambar 4.17 merupakan grafik yang dapat memperlihatkan pengaruh dari sudut kemiringan struktur. Terlihat bahwa tingkat kerusakan pada saat sudut kemiringan struktur 1 : 1,5 lebih besar bila dibandingkan dengan tingkat kerusakan pada saat sudut kemiringan 1 : 2. Hal ini membuktikan bahwa pengaruh dari sudut kemiringan struktur adalah berbanding lurus dengan tingkat kerusakan unit lapis pelindung. Semakin besar sudut kemiringan struktur maka semakin besar pula tingkat kerusakan yang terjadi.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian mengenai uji stabilitas unit lapis pelindung BPPT-lock pada *seawall* dengan variasi sudut kemiringan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sudut kemiringan struktur mempunyai pengaruh besar dalam menentukan stabilitas unit lapis pelindung bangunan pantai sisi miring. Koefisien stabilitas berbanding lurus dengan sudut kemiringan struktur. Semakin tinggi koefisien stabilitas mengakibatkan semakin besar persentase kerusakan. Koefisien stabilitas terbesar pada saat sudut kemiringan struktur 1 : 1,15 sebesar 47,68, pada saat sudut kemiringan struktur 1 : 1,5 sebesar 40,32, dan pada saat sudut kemiringan struktur 1 : 2 sebesar 28,03. Persentase kerusakan yang terjadi pada kemiringan 1 : 1,15 memiliki persentase kerusakan terbesar apabila dibandingkan dengan persentase kerusakan pada kemiringan 1 : 1,5 dan kemiringan 1 : 2.
2. Daerah yang mengalami kerusakan adalah daerah *run up* dan *run down* gelombang. Pada saat kemiringan 1 : 1,15 dengan variasi tinggi gelombang tertinggi yaitu 14 cm, terjadi tingkat kerusakan sebesar 31,45 %. Sedangkan pada saat kemiringan 1 : 1,5 dan 1 : 2 terjadi tingkat kerusakan sebesar 2,35 % dan 1,33 % untuk tinggi gelombang yang sama.

#### **5.2 Saran**

Dari penelitian yang sudah dilakukan, saran penulis apabila akan melakukan penelitian yang serupa adalah:

1. Melakukan penambahan variasi tinggi gelombang dan periode gelombang dalam percobaan agar didapatkan plot hasil percobaan yang lebih banyak dan menghasilkan persamaan tren garis yang lebih akurat.
2. Menurunkan persamaan empiris dari hasil percobaan yang dilakukan.
3. Menganalisis stabilitas pada bagian kaki (*toe protection*) dengan menggunakan BPPT-lock sebagai unit lapis pelindung.

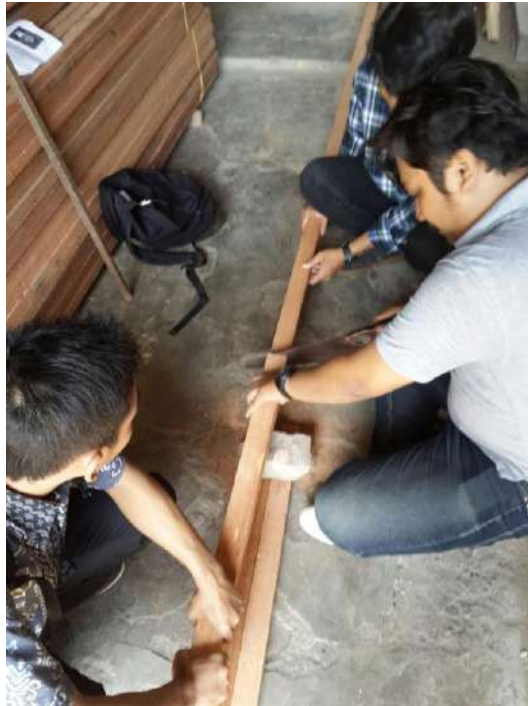
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Bakker, P. *et al.* (2005). “*Hydraulic Performace of Xbloc Armour Units*”, Delta Marine Consultants, Belanda.
- Battacharyya. 1972. “*Dynamic of Marine Vehicles*”. a Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York.
- Burcharth, H.F. 1994. “*The Design of Breakwaters. Coastal, Estuarial, and Harbour Engineers*”. Reference Book, eds. Abbot, M.B. Price, W. A., E & FN SPON London, pp. 381 –424.
- CED (2003). “*Port Work Design Manual Part 4, Guide to Design of Seawalls and Breakwaters*”. Civil Engineering Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. Homantin, Kowloon.
- CERC, (1984). *Shore Protection Manual*. US Army Coastal Engineering, Research Center. Washington.
- Chegini, V. and Aghtouman, P. (2006). “An Investigation on Stability of Rubble Mound Breakwaters with Armour Layers of Antifer Cubes”, *Journal of Marine Engineering*, Vol. 2, No. 1.
- Dauhan, S.K., dkk. (2013). “Analisis Karakteristik Gelombang Pecah Terhadap Perubahan Garis Pantai di Atep Oki”, *Jurnal Sipil Statik Vol 1 No. 12*, November 2013 : 784-796.
- Fatnanta, Ferry (2010). “*Kajian Perilaku Transmisi dan Stabilitas Pemecah Gelombang Kantong Pasir Tipe Tenggelam*”, Ph.D Disertasi, ITS, Surabaya.
- Hakenberg, Ronald (2004). “Structural Integrity Of Xbloc Breakwater Armour Units Prototype And Numerical Drop Tests”. *International Conference on Coastal Engineering 2004*. Lisbon.
- Hudson, Robert Y. (1959). “Laboratory Investigation of Rubble Mound Breakwaters”, *Waterways and Harbour Division, Vol 85 WW3*.
- Hughes, S.A. (1993). “*Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*”, Coastal Engineering Research Center, USA.

- Muttray, M., and Reedijk, B., (2008). “*Design of Concrete Armour Layers*”, Delta Marine Consultants, Netherland.
- Husrin, Semeidi, (2015). “*Teori Pemodelan Fisik dan Contoh Penerapan di Bidang Teknik Pantai*”, Balai Pantai – PusAir, Kementerian PUPR, Bandung.
- Sriyana, (2009). “Formula Angka Stabilitas Lapis Lindung Pemecah Gelombang Tipe Gelombang Tak Pecah”, *Dinamika Teknik Sipil, Volume 9, Nomor 2*, Juli 2009 : 174-179
- Triatmodjo, Bambang, (1999). *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Van der Meer, J.W. (1987). “Stability of Breakwater Armour Layers-Design Formulae”. *Coastal Engineering*, 11 : 219-239.
- Van der Meer, J.W. (1988). “Stability of Cubes, Tetrapods and Acropodes”, *Proceeding Breakwater*, Eastbourne.
- Zuhdan, J.M., dkk. (2012). “Development of The BPPT-lock Breakwater Armor Unit”, *Proceeding of The Second International Conference on Port, Coastal, and Offshore Engineering (2nd ICPCO)*, 12-13 November 2012, Bandung.

**LAMPIRAN A**  
**PROSES PEMBUATAN MODEL DAN**  
**INSTALASI KE DALAM *FLUME TANK***



(a)



(b)

**Gambar 1.** (a), (b) Pembuatan kerangka *seawall* dari kayu reng dan kayu lapis



(a)



(b)

**Gambar 2.** (a), (b) Instalasi kerangka *seawall* ke dalam *flume tank*



(a)

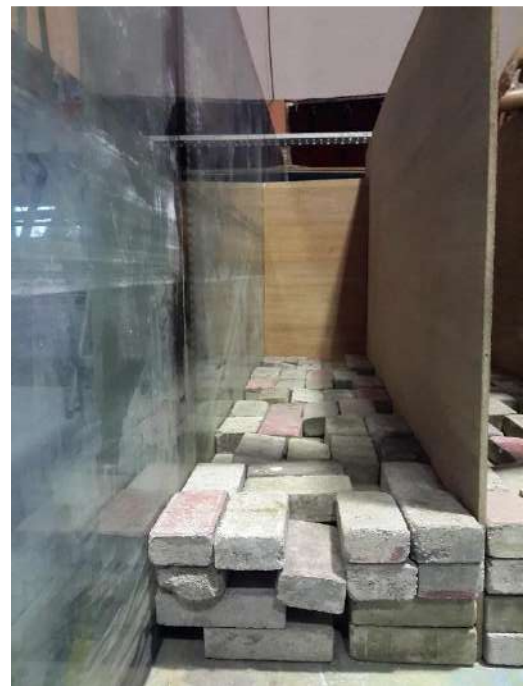


(b)

**Gambar 3.** (a) Proses pembuatan kantong pasir sebagai inti struktur miring,  
(b) Persiapan paving dan model BPPT-lock



(a)



(b)

**Gambar 4.** (a), (b) Peletakan paving sebagai dasar model hingga ketinggian 20 cm





(a)



(b)

**Gambar 5.** (a) Peletakan kantong pasir sebagai inti struktur miring, (b) Penyusunan kerikil sebagai lapis kedua model strukur miring



(a)



(b)

**Gambar 6.** (a) Pemasangan BPPT-lock sesuai dengan zona warna yang sudah ditentukan, (b) Penambahan *slope* 1 : 10 di depan model uji



**Gambar 7.** Model struktur *seawall* sisi miring yang siap diuji

**LAMPIRAN B**  
**HASIL PEMBACAAN GELOMBANG OLEH ANAWARE**

**Variasi Sudut Kemiringan 1 : 1,15**

Wave and Response Analysis - FlumeTank@2011

Beginning of analysis result

=====  
Nama File: H 3 T 1.2..xls  
=====

Wave Characteristic  
+++++

Average Wave Period	= 2.0890	seconds
Wave Peak Period	= 1.6024	seconds
Mean Zero Crossing Period	= 2.0153	seconds
Significant Wave Height	= 6.7180	centimetres
Maximum Wave Height	= 11.8909	centimetres
Zero Moment Wave Height	= 6.7180	centimetres
Average Wave Height	= 4.1987	centimetres
rms Wave Height	= 3.7352	centimetres
Average of Highest 1/10	= 8.5319	centimetres

=====  
Nama File: H 3 T 1.4..xls  
=====

Wave Characteristic  
+++++

Average Wave Period	= 2.3100	seconds
Wave Peak Period	= 1.6448	seconds
Mean Zero Crossing Period	= 2.2073	seconds
Significant Wave Height	= 6.0939	centimetres
Maximum Wave Height	= 10.7862	centimetres
Zero Moment Wave Height	= 6.0939	centimetres
Average Wave Height	= 3.8087	centimetres
rms Wave Height	= 3.3882	centimetres
Average of Highest 1/10	= 7.7393	centimetres

=====  
Nama File: H 5 T 1.2..xls  
=====

Wave Characteristic  
+++++

Average Wave Period	= 2.0285	seconds
Wave Peak Period	= 1.5292	seconds
Mean Zero Crossing Period	= 1.9595	seconds
Significant Wave Height	= 10.7849	centimetres
Maximum Wave Height	= 19.0892	centimetres
Zero Moment Wave Height	= 10.7849	centimetres

Average Wave Height	= 6.7405	centimetres
rms Wave Height	= 5.9964	centimetres
Average of Highest 1/10	= 13.6968	centimetres

=====

Nama File: H 6 T 1.2..xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	= 2.1607	seconds
Wave Peak Period	= 1.5921	seconds
Mean Zero Crossing Period	= 2.0801	seconds
Significant Wave Height	= 13.1666	centimetres
Maximum Wave Height	= 23.3048	centimetres
Zero Moment Wave Height	= 13.1666	centimetres
Average Wave Height	= 8.2291	centimetres
rms Wave Height	= 7.3206	centimetres
Average of Highest 1/10	= 16.7215	centimetres

=====

Nama File: H 7 T 1.2..xls

=====

Wave Characteristic

+++++

Average Wave Period	= 2.1041	seconds
Wave Peak Period	= 1.5856	seconds
Mean Zero Crossing Period	= 2.0349	seconds
Significant Wave Height	= 14.0945	centimetres
Maximum Wave Height	= 24.9473	centimetres
Zero Moment Wave Height	= 14.0945	centimetres
Average Wave Height	= 8.8091	centimetres
rms Wave Height	= 7.8366	centimetres
Average of Highest 1/10	= 17.9001	centimetres

## Variasi sudut kemiringan 1 : 1,5

Wave and Response Analysis - FlumeTank@2011

Beginning of analysis result

```
=====
Nama File: H 3 T 1.2..xls
=====
```

```
Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period      = 2.0868    seconds
Wave Peak Period        = 1.6767    seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.0236    seconds
Significant Wave Height  = 7.5376    centimetres
Maximum Wave Height      = 13.3416   centimetres
Zero Moment Wave Height  = 7.5376    centimetres
Average Wave Height      = 4.7110    centimetres
rms Wave Height          = 4.1909    centimetres
Average of Highest 1/10  = 9.5728    centimetres
```

```
=====
Nama File: H 3 T 1.4..xls
=====
```

```
Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period      = 2.3059    seconds
Wave Peak Period        = 1.7180    seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.2077    seconds
Significant Wave Height  = 6.5991    centimetres
Maximum Wave Height      = 11.6804   centimetres
Zero Moment Wave Height  = 6.5991    centimetres
Average Wave Height      = 4.1244    centimetres
rms Wave Height          = 3.6691    centimetres
Average of Highest 1/10  = 8.3809    centimetres
```

```
=====
Nama File: H 5 T 1.2..xls
=====
```

```
Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period      = 2.0253    seconds
Wave Peak Period        = 1.6069    seconds
Mean Zero Crossing Period = 1.9678    seconds
Significant Wave Height  = 11.9745   centimetres
Maximum Wave Height      = 21.1948   centimetres
Zero Moment Wave Height  = 11.9745   centimetres
Average Wave Height      = 7.4840    centimetres
rms Wave Height          = 6.6578    centimetres
Average of Highest 1/10  = 15.2076   centimetres
```

```
=====
Nama File: H 6 T 1.2.xls
=====
```

```
Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period      = 2.1757    seconds
Wave Peak Period        = 1.6559    seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.1034    seconds
Significant Wave Height  = 13.8180  centimetres
Maximum Wave Height      = 24.5670  centimetres
Zero Moment Wave Height  = 6.9398   centimetres
Average Wave Height      = 4.3374   centimetres
rms Wave Height          = 3.8585   centimetres
Average of Highest 1/10  = 8.8136   centimetres
```

```
=====
Nama File: H 7 T 1.2.xls
=====
```

```
Wave Characteristic
+++++
Average Wave Period      = 2.0960    seconds
Wave Peak Period        = 1.6285    seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.0345    seconds
Significant Wave Height  = 14.5623  centimetres
Maximum Wave Height      = 25.8902  centimetres
Zero Moment Wave Height  = 7.3136   centimetres
Average Wave Height      = 4.5710   centimetres
rms Wave Height          = 4.0664   centimetres
Average of Highest 1/10  = 9.2883   centimetres
```

## Variasi sudut kemiringan 1:2

Wave and Response Analysis - FlumeTank@2011

Beginning of analysis result

```
=====
Nama File: H 3 T 1.2..xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.0880    seconds
Wave Peak Period        = 1.6277    seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.0180    seconds
Significant Wave Height  = 7.2174    centimetres
Maximum Wave Height      = 13.9943   centimetres
Zero Moment Wave Height  = 7.9064    centimetres
Average Wave Height      = 4.9415    centimetres
rms Wave Height          = 4.3960    centimetres
Average of Highest 1/10  = 10.0411   centimetres
```

```
=====
Nama File: H 3 T 1.4..xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.3327    seconds
Wave Peak Period        = 1.7168    seconds
Mean Zero Crossing Period = 2.2310    seconds
Significant Wave Height  = 6.4632    centimetres
Maximum Wave Height      = 12.5319   centimetres
Zero Moment Wave Height  = 7.0802    centimetres
Average Wave Height      = 4.4251    centimetres
rms Wave Height          = 3.9366    centimetres
Average of Highest 1/10  = 8.9918    centimetres
```

```
=====
Nama File: H 5 T 1.2..xls
=====
```

Wave Characteristic

```
+++++
Average Wave Period      = 2.0353    seconds
Wave Peak Period        = 1.6108    seconds
Mean Zero Crossing Period = 1.9776    seconds
Significant Wave Height  = 11.5744   centimetres
Maximum Wave Height      = 22.4425   centimetres
Zero Moment Wave Height  = 12.6794   centimetres
Average Wave Height      = 7.9246    centimetres
rms Wave Height          = 7.0497    centimetres
Average of Highest 1/10  = 16.1028   centimetres
```

=====  
Nama File: H 6 T 1.2.xls  
=====

Wave Characteristic  
+++++  
Average Wave Period = 2.1682 seconds  
Wave Peak Period = 1.6503 seconds  
Mean Zero Crossing Period = 2.0951 seconds  
Significant Wave Height = 13.3424 centimetres  
Maximum Wave Height = 25.8704 centimetres  
Zero Moment Wave Height = 14.6161 centimetres  
Average Wave Height = 9.1350 centimetres  
rms Wave Height = 8.1265 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 18.5624 centimetres

=====  
Nama File: H 7 T 1.2.xls  
=====

Wave Characteristic  
+++++  
Average Wave Period = 2.0925 seconds  
Wave Peak Period = 1.6129 seconds  
Mean Zero Crossing Period = 2.0290 seconds  
Significant Wave Height = 14.1976 centimetres  
Maximum Wave Height = 27.5287 centimetres  
Zero Moment Wave Height = 15.5529 centimetres  
Average Wave Height = 9.7206 centimetres  
rms Wave Height = 8.6474 centimetres  
Average of Highest 1/10 = 19.7522 centimetres



## LAMPIRAN C

### FOTO PENGAMATAN VISUAL SEBELUM DAN SESUDAH PERCOBAAN

Variasi Sudut Kemiringan 1 : 1,15



(a)



(b)

**Gambar 8.** Percobaan ke-1 (a) sesudah, (b) sebelum



(a)



(b)

**Gambar 9.** Percobaan ke-2 (a) sebelum, (b) sesudah



(a)



(b)

**Gambar 10.** Percobaan ke-3 (a) sebelum, (b) sesudah



(a)



(b)

**Gambar 11.** Percobaan ke-4 (a) sebelum, (b) sesudah





(a)



(b)

**Gambar 12.** Percobaan ke-5 (a) sebelum, (b) sesudah

#### Variasi Sudut Kemiringan 1 : 1,5



(a)



(b)

**Gambar 13.** Percobaan ke-6 (a) sebelum, (b) sesudah



(a)



(b)

**Gambar 14.** Percobaan ke-7 (a) sebelum, (b) sesudah



(a)



(b)

**Gambar 15.** Percobaan ke-8 (a) sebelum, (b) sesudah





(a)



(b)

**Gambar 16.** Percobaan ke-9 (a) sebelum, (b) sesudah



(a)



(b)

**Gambar 17.** Percobaan ke-10 (a) sebelum, (b) sesudah

### Variasi Sudut Kemiringan 1 : 2



(a)



(b)

**Gambar 18.** Percobaan ke-11 (a) sebelum, (b) sesudah



(a)



(b)

**Gambar 19.** Percobaan ke-12 (a) sebelum, (b) sesudah





(a)



(b)

**Gambar 20.** Percobaan ke-13 (a) sebelum, (b) sesudah



(a)



(b)

**Gambar 21.** Percobaan ke-14 (a) sebelum, (b) sesudah



(a)



(b)

**Gambar 22.** Percobaan ke-15 (a) sebelum, (b) sesudah



## LAMPIRAN D

### TABEL-TABEL PERHITUNGAN

**Tabel 1.** Parameter utama model BPPT-lock

Besaran	Ukuran	Satuan
Berat (W)	0,065	kg
Volume (V)	0,0000306	m <sup>3</sup>
Massa Jenis Model ( $\rho_m$ )	2124,18	kg/m <sup>3</sup>
Massa Jenis Air ( $\rho_w$ )	997,7	kg/m <sup>3</sup>
Berat Jenis Relatif ( $\Delta$ )	1,13	
Diameter Nominal (Dn)	0,03	
Gravitasi (g)	9,81	m/s <sup>2</sup>

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan

No.	Kemiringan	H <sub>s</sub> (m)	T <sub>p</sub> (s)	H/gT <sup>2</sup>	Damage (%)	K <sub>D</sub>	H/ΔDn
1	1 : 1,15	0,0618	1,6024	0,01542	0,001	4,0162	1,665341
2		0,0609	1,6448	0,01443	0,001	3,8544	1,642671
3		0,1078	1,5292	0,029551	3,1447	21,3657	2,907176
4		0,1317	1,5921	0,03328	26,4151	38,8766	3,549187
5		0,1409	1,5856	0,03592	31,4465	47,6888	3,799311
6	1 : 1,5	0,0754	1,6767	0,017179	0,001	5,5921	2,031834
7		0,0660	1,718	0,01433	0,001	3,7526	1,778852
8		0,1197	1,6069	0,02971	0,001	22,4206	3,227844
9		0,1382	1,6559	0,03229	1,7647	34,4516	3,724778
10		0,1456	1,6285	0,03518	2,3529	40,3241	3,925411
11	1 : 2	0,0722	1,6277	0,017455	0,001	3,6820	1,945521
12		0,0646	1,7168	0,01405	0,001	2,6441	1,742219
13		0,1157	1,6108	0,02858	0,001	15,1856	3,119993
14		0,1334	1,6503	0,03139	1,3333	23,2615	3,596575
15		0,1420	1,6129	0,03497	1,3333	28,0272	3,827103

## BIODATA PENULIS



Farid Vega Ardian merupakan anak pertama dari pasangan Indiadi dan Tutik Ambarwati yang dilahirkan di Jombang pada tanggal 31 Maret 1995. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan Pendidikan Dasar di MI Al-As'ad Brambang pada tahun 2001-2007. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMPN 1 Diwek pada tahun 2007-2010 dan SMAN 3 Jombang pada tahun 2010-2013. Setelah dinyatakan lulus dari SMA, penulis melanjutkan Pendidikan Tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil program studi Teknik Kelautan. Penulis di terima di Departemen Teknik Kelautan melalui jalur SMPTN dan terdaftar dengan NRP 4313100074. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif di beberapa kegiatan mahasiswa, diantaranya adalah tergabung dalam keanggotaan HIMATEKLA, Mahagana, dan Bahrul Ilmi. Pada tahun 2016 penulis berkesempatan untuk melakukan kerja praktek di Balai Pantai – Badan Penelitian dan Pengembangan SDA, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang berlokasi di Gerokgak, Buleleng, Bali.

Kontak Penulis :

Email : [faridvega87@gmail.com](mailto:faridvega87@gmail.com)

Telepon : 083854940990